

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO–GEOLOŠKO–NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij geološkog inženjerstva

ŽELJEZO I MANGAN U PODZEMNIM VODAMA ISTOČNE SLAVONIJE

Diplomski rad

Ružica Ešegović

G-162

Zagreb, 2016.

ŽELJEZO I MANGAN U PODZEMNIM VODAMA ISTOČNE SLAVONIJE

RUŽICA EŠEGOVIĆ

Diplomski rad je izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Sažetak

Predmet istraživanja ovog rada je sadržaj željeza i mangana u podzemnim vodama koje se koriste kao vode za piće na području istočne Slavonije. Analizirani su fizikalno-kemijski parametri dobiveni uzorkovanjem vode iz piezometara nacionalnog monitoringa na 38 lokacija u razdoblju od 2009. do 2013. godine, te je zaključeno da vrijednosti željeza na 30 lokacija i mangana na 29 lokacija prelaze maksimalno dozvoljenu koncentraciju (MDK) u vodi za piće prema Pravilniku o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju (NN, br. 125/13, 141/13 i 128/15). Povišeni sadržaj željeza i mangana u podzemnoj vodi istočne Slavonije nije antropogenog porijekla. Na njihov sadržaj utječu uvjeti u vodonosniku, pH vrijednost i količina otopljenog kisika.

Ključne riječi: željezo, mangan, podzemna voda, vodonosnik, istočna Slavonija, povišena vrijednost

Diplomski rad sadrži: 65 stranice, 85 slika, 1 tablicu i 19 referenci

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta

Pierottijeva 6, Zagreb

Voditelj: Prof. dr. sc. Andrea Bačani

Ocjenjivači: Prof. dr. sc. Andrea Bačani

Prof. dr. sc. Frankica Kapor

Doc. dr. sc. Dario Perković

Datum obrane: 19. veljače 2016.

Faculty of Mining, Geology, and Petroleum Engineering

IRON AND MANGANESE IN GROUNDWATER OF EASTERN SLAVONIA

RUŽICA EŠEGOVIĆ

Thesis completed in: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology, and Petroleum Engineering
Department of Geology and Geological Engineering
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Abstract

The subject of this thesis is the content of iron and manganese in groundwater which is used as drinking water for the eastern parts of Slavonia. Physical and chemical parameters are analyzed. These parameters were acquired by sampling water from 2009 to 2013. It is concluded that iron values at 30 locations and manganese values at 29 locations exceeds maximum permissible concentration (MPC) in the drinking water according to the valid Law (NN, no. 125/13, 141/13 and 128/15). Increased content of iron and manganese in groundwater of eastern Slavonia isn't of anthropogenic origin. Conditions in the aquifer, pH value and the amount of dissolved oxygen affects increased content of iron and manganese in groundwater.

Keywords: iron, manganese, groundwater, aquifer, Eastern Slavonia, increased value

Thesis contains: 65 pages, 85 figures, 1 table and 19 references

Original in: Croatian

Thesis deposited in: Library of Faculty of Mining, Geology, and Petroleum Engineering
Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: PhD Andrea Bačani, Professor

Reviewers: PhD Andrea Bačani, Professor

PhD Frankica Kapor, Professor

PhD Dario Perković, Assistant Professor

Date of defense: February 19th, 2016.

SADRŽAJ

1. Uvod.....	1
2. Općenito o željezu i manganu	2
2.1. Željezo	2
2.1.1. Rasprostranjenost željeza	2
2.1.2. Željezo u podzemnim vodama.....	3
2.1.3. Topljivost željeza.....	4
2.1.4. Utjecaj željeza na zdravlje čovjeka	7
2.2. Mangan	8
2.2.1. Rasprostranjenost mangana	8
2.2.2. Mangan u podzemnim vodama	9
2.2.3. Topljivost mangana	10
2.2.4. Utjecaj mangana na zdravlje čovjeka	11
3. Područje istraživanja	12
3.1. Geološke značajke istočne Slavonije.....	13
3.2. Hidrogeološke značajke istočne Slavonije.....	15
3.2.1. Hidrogeološke značajke Dravske potoline	16
3.2.2. Hidrogeološke značajke Savske potoline	16
3.2.2.1. Vodonosni sloj <i>Velika Kopanica</i>	16
3.2.2.2. Vodonosni slojevi <i>Vinkovci, Nijemci i Strizivojna</i>	17
3.2.3. Hidrogeološke značajke Đakovačko-vinkovačkog i Vukovarskog ravnjaka	18
4. Metodologija	19
5. Rezultati	20
6. Zaključak.....	63
7. Literatura	64

POPIS SLIKA

Slika 2-1. Dijagram polja stabilnosti za čvrste i otopljene oblike željeza (prilagođeno prema Hem, 2005)	5
Slika 2-2. Dijagram topljivosti željeza (prilagođeno prema Hem, 2005)	6
Slika 2-3. Dijagram polja stabilnosti za čvrste i otopljene oblike mangana (prilagođeno prema Hem, 2005)	10
Slika 3-1. Područje istraživanja.....	12
Slika 4-1. Lokacije piezometara nacionalnog monitoringa.....	19
Slika 5-1. Koncentracija željeza u vremenu (Topolje, Livade, Prosine i Konkološ).....	21
Slika 5-2. Koncentracija željeza u vremenu (Jarčevac, Vinogradi Pz-2, Vinogradi Pz-2a, Vinogradi Pz-3)	22
Slika 5-3. Koncentracija željeza u vremenu (Korođ Z-1, Korođ P-1, Semeljci)	22
Slika 5-4. Koncentracija željeza u vremenu (Čvorkovac, Cerić, Tordinci)	23
Slika 5-5. Koncentracija željeza u vremenu (Trslana V-5, Trslana V-27, Stari Mikanovci SMZ-1, Stari Mikanovci SMP-1, Donji Andrijevc)	23
Slika 5-6. Koncentracija željeza u vremenu (Babina greda, Gundinci Z-1, Gundinci SPB-3, Gundinci SPB-5)	24
Slika 5-7. Koncentracija željeza u vremenu (Jelas P-7/91, Jelas P-9/91, Jelas P-10/91, Jelas P-15/91)	24
Slika 5-8. Koncentracije željeza u vremenu (Kanovci, Stari Jankovci, Nijemci).....	25
Slika 5-9. Koncentracije željeza u vremenu (Županja, Bošnjaci, Vrbanja)	25
Slika 5-10. Koncentracije željeza u vremenu (Skela, Mohovo MP-4, Mohovo MP-3, Bapska, Opatovac).....	26
Slika 5-11. Koncentracija mangana u vremenu (Topolje, Livade, Prosine, Konkološ)	26
Slika 5-12. Koncentracija mangana u vremenu (Jarčevac, Vinogradi Pz-2, Vinogradi Pz-2a, Vinogradi Pz-3)	27
Slika 5-13. Koncentracije mangana u vremenu (Korođ Z-1, Korođ P-1, Semeljci).....	27
Slika 5-14. Koncentracija mangana u vremenu (Čvorkovac, Cerić, Tordinci).....	28
Slika 5-15. Koncentracija mangana u vremenu (Trslana V-5, Trslana V-27, Stari Mikanovci SMZ-1, Stari Mikanovci SMP-1, Donji Andrijevc)	28
Slika 5-16. Koncentracija mangana u vremenu (Babina greda, Gundinci Z-1, Gundinci SPB-3, Gundinci SPB-5)	29

Slika 5-17. Koncentracije mangana u vremenu (Jelas P-7/91, Jelas P-9/91, Jelas P-10/91, Jelas P-15/91)	29
Slika 5-18. Koncentracije mangana u vremenu (Kanovci, Stari Jankovci, Nijemci)	30
Slika 5-19. Koncentracije mangana u vremenu (Županja, Bošnjaci, Vrbanja).....	30
Slika 5-20. Koncentracije mangana u vremenu (Skela, Mohovo MP-4, Mohovo MP-3, Bapska, Opatovac).....	31
Slika 5-21. Odnos željeza i pH vrijednosti (Topolje, Livade, Prosine, Konkološ).....	31
Slika 5-22. Odnos željeza i pH vrijednosti (Jarčevac, Vinogradi Pz-2, Vinogradi Pz-2a, Vinogradi Pz-3)	32
Slika 5-23. Odnos željeza i pH vrijednosti (Korođ Z-1, Korođ P-1, Semeljci)	32
Slika 5-24. Odnos željeza i pH vrijednosti (Čvorkovac, Cerić, Tordinci).....	33
Slika 5-25. Odnos željeza i pH vrijednosti (Trslana V-5, Trslana V-27, Stari Mikanovci SMZ-1, Stari Mikanovci SMP-1, Donji Andrijevc).....	33
Slika 5-26. Odnos željeza i pH vrijednosti (Babina Greda, Gundinci Z-1, Gundinci SPB-3, Gundinci SPB-5)	34
Slika 5-27. Odnos željeza i pH vrijednosti (Jelas P-7/91, Jelas P-9/91, Jelas P-10/91, Jelas P15/91)	34
Slika 5-28. Odnos željeza i pH vrijednosti (Kanovci, Stari Jankovci, Nijemci).....	35
Slika 5-29. Odnos željeza i pH vrijednosti (Županja, Bošnjaci, Vrbanja).....	35
Slika 5-30. Odnos željeza i pH vrijednosti (Skela, Mohovo MP-4, Mohovo MP-3, Bapska, Opatovac).....	36
Slika 5-31. Odnos mangana i pH vrijednosti (Topolje, Livade, Prosine, Konkološ)	36
Slika 5-32. Odnos mangana i pH vrijednosti (Jarčevac, Vinogradi Pz-2, Vinogradi Pz-2a, Vinogradi Pz-3)	37
Slika 5-33. Odnos mangana i pH vrijednosti (Korođ Z-1, Korođ P-1, Semeljci).....	37
Slika 5-34. Odnos mangana i pH vrijednosti (Čvorkovac, Cerić, Tordinci).....	38
Slika 5-35. Odnos mangana i pH vrijednosti (Trslana V-5, Trslana V-27, Stari Mikanovci SMZ-1, Stari Mikanovci SMP-1, Donji Andrijevc).....	38
Slika 5-36. Odnos mangana i pH vrijednosti (Babina Greda, Gundinci Z-1, Gundinci SPB-3, Gundinci SPB-5)	39
Slika 5-37. Odnos mangana i pH vrijednosti (Jelas P-7/91, Jelas P-9/91, Jelas P-10/91, Jelas P15/91).....	39
Slika 5-38. Odnos mangana i pH vrijednosti (Kanovci, Stari Jankovci, Nijemci)	40
Slika 5-39. Odnos mangana i pH vrijednosti (Županja, Bošnjaci, Vrbanja).....	40

Slika 5-40. Odnos mangana i pH vrijednosti (Skela, Mohovo MP-4, Mohovo MP-3, Bapska, Opatovac).....	41
Slika 5-41. Odnos željeza i sumporovodika (Topolje, livade, Prosine, Konkološ)	41
Slika 5-42. Odnos željeza i sumporovodika (Jarčevac, Vinogradi Pz-2, Vinogradi Pz-2a, Vinogradi Pz-3)	42
Slika 5-43. Odnos željeza i sumporovodika (Korođ Z-1, Korođ P-1, Semeljci)	42
Slika 5-44. Odnos željeza i sumporovodika (Čvorkovac, Cerić, Tordinci)	43
Slika 5-45. Odnos željeza i sumporovodika (Trslana V-5, Trslana V-27, Stari Mikanovci SMZ-1, Stari Mikanovci SMP-1, Donji Andrijević).....	43
Slika 5-46. Odnos željeza i sumporovodika (Babina Greda, Gundinci Z-1, Gundinci SPB-3, Gundinci SPB-5)	44
Slika 5-47. Odnos željeza i sumporovodika (Jelas P-7/91, Jelas P-9/91, Jelas P-10/91, Jelas P15/91)	44
Slika 5-48. Odnos željeza i sumporovodika (Kanovci, Stari Jankovci, Nijemci).....	45
Slika 5-49. Odnos željeza i sumporovodika (Županja, Bošnjaci, Vrbanja)	45
Slika 5-50. Odnos željeza i sumporovodika (Skela, Mohovo MP-4, Mohovo MP-3, Bapska, Opatovac).....	46
Slika 5-51. Odnos mangana i sumporovodika (Topolje, Livade, Prosine, Konkološ).....	46
Slika 5-52. Odnos mangana i sumporovodika (Jarčevac, Vinogradi Pz-2, Vinogradi Pz-2a, Vinogradi Pz-3)	47
Slika 5-53. Odnos mangana i sumporovodika (Korođ Z-1, Korođ P-1, Semeljci).....	47
Slika 5-54. Odnos mangana i sumporovodika (Čvorkovac, Cerić, Tordinci).....	48
Slika 5-55. Odnos mangana i sumporovodika (Trslana V-5, Trslana V-27, Stari Mikanovci SMZ-1, Stari Mikanovci SMP-1, Donji Andrijević).....	48
Slika 5-56. Odnos mangana i sumporovodika (Babina Greda, Gundinci Z-1, Gundinci SPB-3, Gundinci SPB-5)	49
Slika 5-57. Odnos mangana i sumporovodika (Jelas P-7/91, Jelas P-9/91, Jelas P-10/91, Jelas P15/91).....	49
Slika 5-58. Odnos mangana i sumporovodika (Kanovci, Stari Jankovci, Nijemci)	50
Slika 5-59. Odnos mangana i sumporovodika (Županja, Bošnjaci, Vrbanja).....	50
Slika 5-60. Odnos mangana i sumporovodika (Skela, Mohovo MP-4, Mohovo MP-3, Bapska, Opatovac).....	51
Slika 5-61. Odnos željeza i otopljenog kisika (Topolje, Livade, Prosine i Konkološ)	51

Slika 5-62. Odnos željeza i otopljenog kisika (Jarčevac, Vinogradi Pz-2, Vinogradi Pz-2a, Vinogradi Pz-3)	52
Slika 5-63. Odnos željeza i otopljenog kisika (Korođ Z-1, Korođ P-1, Semeljci)	52
Slika 5-64. Odnos željeza i otopljenog kisika (Čvorkovac, Cerić, Tordinci)	53
Slika 5-65. Odnos željeza i otopljenog kisika (Trslana V-5, Trslana V-27, Stari Mikanovci SMZ-1, Stari Mikanovci SMP-1, Donji Andrijevc)	53
Slika 5-66. Odnos željeza i otopljenog kisika (Babina Greda, Gundinci Z-1, Gundinci SPB-3, Gundinci SPB-5)	54
Slika 5-67. Odnos željeza i otopljenog kisika (Jelas P-7/91, Jelas P-9/91, Jelas P-10/91, Jelas P15/91).....	54
Slika 5-68. Odnos željeza i otopljenog kisika (Kanovci, Stari Jankovci, Nijemci)	55
Slika 5-69. Odnos željeza i otopljenog kisika (Županja, Bošnjaci, Vrbanja)	55
Slika 5-70. Odnos željeza i otopljenog kisika (Skela, Mohovo MP-4, Mohovo MP-3, Bapska, Opatovac).....	56
Slika 5-71. Odnos mangana i otopljenog kisika (Topolje, Livade, Prosine, Konokološ)... 56	
Slika 5-72. Odnos mangana i otopljenog kisika (Jarčevac, Vinogradi Pz-2, Vinogradi Pz-2a, Vinogradi Pz-3)	57
Slika 5-73. Odnos mangana i otopljenog kisika (Korođ Z-1, Korođ P-1, Semeljci)	57
Slika 5-74. Odnos mangana i otopljenog kisika (Čvorkovac, Cerić, Tordinci).....	58
Slika 5-75. Odnos mangana i otopljenog kisika (Trslana V-5, Trslana V-27, Stari Mikanovci SMZ-1, Stari Mikanovci SMP-1, Donji Andrijevc)	58
Slika 5-76. Odnos mangana i otopljenog kisika (Babina Greda, Gundinci Z-1, Gundinci SPB-3, Gundinci SPB-5)	59
Slika 5-77. Odnos mangana i otopljenog kisika (Jelas P-7/91, Jelas P-9/91, Jelas P-10/91, Jelas P15/91).....	59
Slika 5-78. Odnos mangana i otopljenog kisika (Kanovci, Stari Jankovci, Nijemci).....	60
Slika 5-79. Odnos mangana i otopljenog kisika (Županja, Bošnjaci, Vrbanja).....	60
Slika 5-80. Odnos mangana i otopljenog kisika (Skela, Mohovo MP-4, Mohovo MP-3, Bapska, Opatovac).....	61

POPIS TABLICA

Tablica 5-1. Vrijednosti analiziranih parametara na istraživanim lokacijama.....	19
---	----

1. Uvod

Tema ovog rada su željezo i mangan u podzemnim vodama koje se koriste kao voda za piće. Željezo i mangan su metali koji su prisutni u mnogim stijinama, te ih također možemo pronaći u vodi. Njihove koncentracije u podzemnim vodama su uglavnom veće nego u površinskim vodama. Najčešći izvori željeza i mangana u podzemnim vodama su prirodni procesi kao što su otapanje minerala. Industrija, otpuštanje rudničkih voda i kanalizacije, te odlagališta otpada također utječu na distribuciju željeza i mangana u podzemnim vodama. Koncentracija ovih elemenata od samo nekoliko desetina mg/l u vodi, može učiniti vodu neprikladnom za neke primjene, zbog čega je njihovo određivanje često uključeno u analizi vode. Esencijalni su elementi potrebni u malim količinama za žive organizme, dok su u prevelikim koncentracijama toksični.

Cilj ovog rada bio je ocijeniti kakvoću podzemne vode na području istočne Slavonije s obzirom na sadržaj željeza i mangana u odnosu na maksimalno dozvoljene koncentracije prema Pravilniku o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju (NN, br. 125/13, 141/13 i 128/15) na temelju fizikalno-kemijskih parametara dobivenim uzorkovanjem vode iz piezometara sa 38 lokacija.

2. Općenito o željezu i manganu

2.1. Željezo

Željezo je široko rasprostranjen sastavni element stijena i tla. Željezo pravi spojeve u kojima ima oksidacijski broj (+2), (+3) i (+6), a u najvažnijima i najvećem broju spojeva ima oksidacijski broj (+2) i (+3). Stanje (+2) je najstabilnije. Željezo je glavni sastojak mnogih minerala: silikata, sulfida, oksida i soli. U taložnim okolišima željezo se koncentrira u oksidiranim formacijama i formacijama bogatim sulfidima (Jordana i Batista, 2004). Najčešći minerali željeza su hematit (Fe_2O_3), limonit ($\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$), magnetit (Fe_3O_4), pirit (FeS_2) i siderit (FeCO_3). Koncentracija od samo nekoliko desetina mg/l željeza u vodi, može učiniti vodu neprikladnom za neke primjene, zbog čega je određivanje željeza često uključeno u analizi vode. Koncentracije željeza u vodi ovise o kemijskoj ravnoteži. Ova ravnoteža uključuje procese oksidacije i redukcije, precipitaciju i otapanje hidroksida, karbonata i sulfida, složeno formiranje s organskim materijalom i metabolizam biljaka i životinja.

2.1.1. Rasprostranjenost željeza

U magmatskim stijenama glavni minerali koji sadrže željezo kao glavnu komponentu uključuju piroksene, amfibole, biotite, magnetite i olivin. Sastav olivina kreće se od Mg_2SiO_4 do Fe_2SiO_4 (forsterit do fajalit) gdje Fe^{2+} zamjenjuje Mg^{2+} . Željezo u magmatskim stijenama najčešće se nalazi kao Fe^{2+} , ali može biti u kombinaciji s Fe^{3+} kao što je u magnetitu (Fe_3O_4). U sedimentima se željezo pojavljuje u oksidacijskom stanju (+2) u vrstama minerala kao što su polisulfidni pirit ili markazit (FeS_2), karbonatni siderit i kao mješovit oksid magnetita koji može biti magmatski ili metamorfni mineral (Hem, 2005). Fe^{3+} je uobičajeno u kombinaciji s Fe^{2+} u glaukonitu. Ioni željeza Fe^{2+} i Fe^{3+} su široko rasprostranjeni kao sekundarni sastavni dio većine sedimenata. Sadržaj željeza u magmatskim stijenama raste sa alkalnosti, a kreće se u granicama između 2,17% i 10%. Gline sadrže 3-5%, te pješčenjaci i vapnenci manje od 1% (Jordana i Batista, 2004).

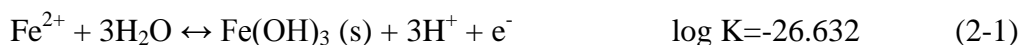
Fe^{3+} oksidi i hidroksidi su vrlo važni minerali na bazi željeza. Hematit (Fe_2O_3) je dehidrirani oblik. Hidrirane vrste Fe^{3+} oksida i hidroksida $\text{Fe}(\text{OH})_3$ su općenito bez dobro definirane kristalne strukture i mogu sadržavati manje vode nego što je naznačeno (Hem, 2005). Sadržaj Fe^{3+} hidroksida u stijenama i tlu određuje njihovu crvenu ili žutu boju. Otapanje željeza iz silikatnih minerala je obično spor proces, ali atmosfersko djelovanje na silikatne stijene bazirane na željezu može prouzročiti akumulaciju Fe^{3+} oksida ili

hidroksida. Oksidne i sulfidne vrste željeznih minerala su glavni izvori otopljenog željeza u podzemnim vodama. Mobilnost željeza raste u reduciranim sustavima i kada pH opada. Topljivost, mobilnost i oblici pojavljivanja jako ovise o redoks stanju sustava (Jordana i Batista, 2004).

Željezo je esencijalni element u metabolizmu biljaka i životinja. Zbog toga se željezo očekuje u organskom otpadu i ostacima biljaka u tlu. Aktivnosti u biosferi mogu imati jak utjecaj na pojavu željeza u vodi.

2.1.2. Željezo u podzemnim vodama

U podzemnim vodama željezo može postojati u dva oksidacijska stanja (+2) i (+3). Oblici željezo (II) iona prisutne u podzemnim vodama su sljedeći: Fe^{2+} , Fe(OH)^+ , $\text{Fe(OH)}_2(\text{aq})$ i Fe(OH)_3^- . Oblici željezo (III) iona su sljedeći: Fe^{3+} , Fe(OH)^{2+} , Fe(OH)_2^+ , $\text{Fe(OH)}_3(\text{aq})$ i Fe(OH)_4 (Wilkie i Hering, 1996). Raspodjelu željeza između oksidacijskih stanja (+2) i (+3) prikazuje sljedeća jednačba:



Tekuća voda pri gotovo neutralnoj pH vrijednosti, čak i ako je vrlo onečišćena ne može sadržavati značajne koncentracije nekompleksnog otopljenog Fe^{2+} . Željezo se u takvoj vodi pojavljuje kao čestični Fe^{3+} hidroksid ili u nekom organskom obliku. Prirodno obojena voda obično sadržava visoki udio željeza. Većina prirodnih izvora sadržava čestični Fe^{3+} hidroksid koji može utjecati na ponašanje drugih konstituenata posebno metala koji su prisutni u manjoj koncentraciji. Hem (2005) navodi da su laboratorijski eksperimenti pokazali da Fe^{3+} hidroksid u lužnatoj otopini značajno smanjuje koncentraciju bakra.

Najčešći oblik željeza koji se pojavljuje u podzemnim vodama je Fe^{2+} . Složeni FeOH^+ može se pojaviti u maloj količini u otopini u kojoj je prisutan CO_2 . Ionski par $\text{FeSO}_4(\text{aq})$ može biti važan u otopinama koje imaju više od nekoliko stotina mg/l sulfata. Organske molekule formiraju Fe^{2+} spojeve, ali informacije koje se tiču točnih vrsta koje bi se mogle očekivati u podzemnim vodama nisu dostupne. Anion HFeO_2^- može se pojaviti u velikim koncentracijama ukoliko je $\text{pH} > 11$, ali ovako velika vrijednost pH se rijetko postiže u prirodi. U kojoj formi i koncentraciji će se u otopini pojaviti Fe^{3+} ovisi o pH. Ako je $\text{pH} > 4,8$ topljivost Fe^{3+} spojeva je manja od 0,01 mg/l. Otopine s većom koncentracijom Fe^{3+} mogu sadržavati djelomično polimerizirane oblike Fe^{3+} hidroksida. Koloidni Fe^{3+} hidroksid je uobičajen u površinskoj vodi a male količine mogu postojati u čistoj vodi. Fe^{3+} anioni kao FeO_4^{2-} se rijetko nalaze u prirodnoj vodi zato što zahtijevaju jače oksidirajuće

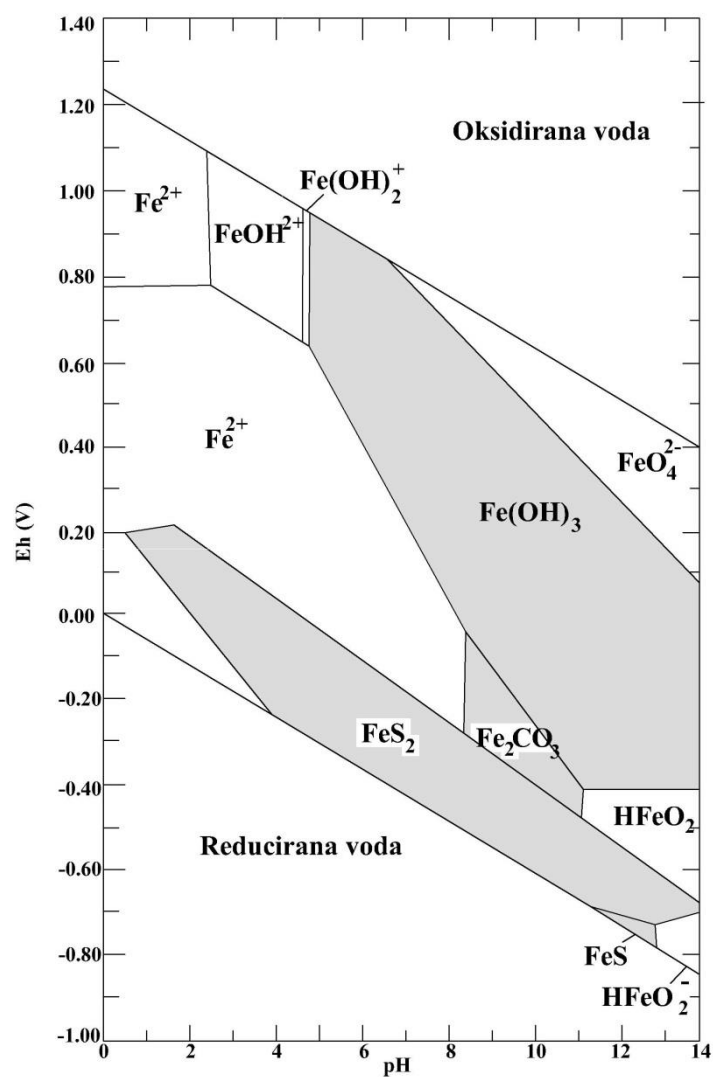
uvjete i veći pH kakvi se rijetko pojavljuju u prirodi. Ioni Fe^{3+} stvaraju jače spojeve nego ioni Fe^{2+} s različitim organskim supstancama, a također mogu formirati spojeve s kloridima, fluoridima, sulfatima i fosfatima. Hem (2005) navodi da je najvažnija reakcija organskih tvari redukcija Fe^{3+} u Fe^{2+} . Vodonosni sloj koji sadrži oksidirane željezne minerale i organske ostatke pruža podoban okoliš za redukciju Fe^{3+} i podiže ionako visoku koncentraciju Fe^{2+} u podzemnoj vodi. Podzemne vode bogate otopljenim željezom mogu ovisiti o oksidaciji reduciranih minerala željeza na regionalnom ili lokalnom kontaktu između oksidirajućih i reducirajućih uvjeta. Načini na koje bakterije utječu na ponašanje željeza u vodi:

1. Proces u kojem bakterije vrše katalitički efekt na brzinu reakcija koje su termodinamički pogodne ali koje se odvijaju relativno sporo u odsutnosti bakterija.
2. Procesi koji zahtijevaju unos energije i mogu biti unaprijeđeni bakterijama koje konzumiraju druge supstance kao izvor energije.

Dakle, bakterije mogu imati dvojak efekt na koncentraciju otopljenog željeza u vodi, smanjuju je ili podižu.

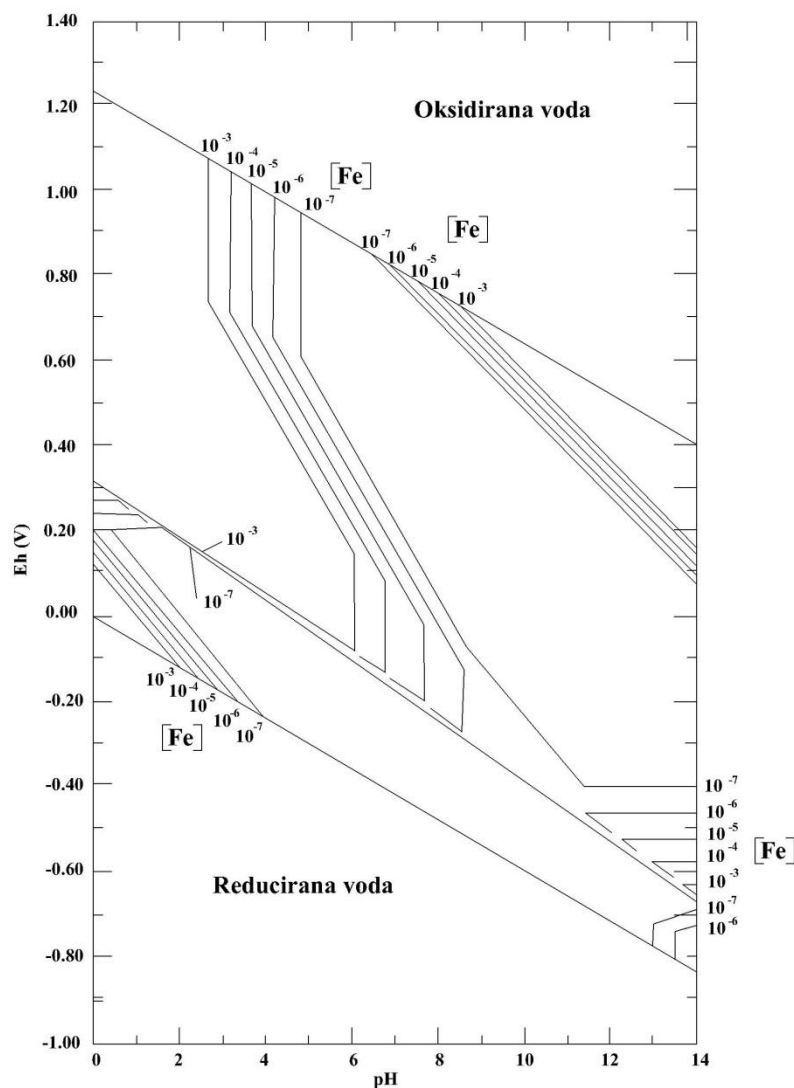
2.1.3. Topljivost željeza

Reakcije u kojima se željezo otapa ili precipitira iz vode su relativno brze. Ravnoteža obuhvaća oksidaciju i redukciju spojeva otopljenog željeza i otapanje i precipitaciju hidroksidnih, karbonatnih i sulfidnih čvrstih tvari koje sadrže oksidirano ili reducirano željezo. Mogu se upotrijebiti za formuliranje jednadžbi temeljenih na zakonu o očuvanju mase i Nernstovoj jednadžbi. Varijable koje utječu na topljivost željeza uključuju pH vrijednost i redoks potencijal (Eh) te otopljeni CO_2 i sumporne spojeve. Ako se otopljenom CO_2 i sumpornim spojevima te otopljenom željezu zadaju fiksne vrijednosti može se sastaviti dijagram u kojem je apscisa pH, a ordinata Eh (Hem, 2005). Takav dijagram će pokazivati uvjete gdje su hidroksidni, karbonatni ili sulfidni minerali željeza stabilni pri temperaturi od 25 °C i tlaku od 101 325 Pa (Slika 2-1).



Slika 2-1. Dijagram polja stabilnosti za čvrste i otopljene oblike željeza
(prilagođeno prema Hem, 2005)

Osim ukazivanja stabilnosti krutih tvari Eh-pH dijagram može se koristiti i za prikazivanje topljivosti željeza.



Slika 2-2. Dijagram topljivosti željeza (prilagođeno prema Hem, 2005)

Uvjeti koji se koriste za dijagram topljivosti (Slika 2-2.) slični su onima za dijagram stabilnosti polja (Slika 2-1.). Kao što je prikazano na Slici 2-2., postoje dva opća Eh-pH uvjeta pod kojima je topljivost željeza vrlo mala. Jedan od tih uvjeta je jaka redukcija i pokriva široko pH područje unutar polja stabilnosti za pirit. Drugi uvjet je stanje umjerene oksidacije kada je $\text{pH} > 5$ i nalazi se unutar polja stabilnosti Fe^{3+} hidroksida. Između ovih područja, a posebice pri niskom pH, željezo je relativno topljivo. Područja visoke topljivosti pri visokom Eh i pH nalaze se izvan Eh-pH raspona koji je učestao u prirodnim sustavima. Iz dijagrama topljivosti može se vidjeti da relativno mali pomaci u Eh ili pH mogu prouzročiti velike promjene u topljivosti željeza. Prema tome kada se pirit izloži oksidiranoj vodi ili kada je Fe^{3+} hidroksid u dodiru s reducirajućim materijalima dolazi do otapanja željeza. Unutar uobičajenog pH raspona podzemne vode (pH 5-9) održavanje Eh

ispod 0,2 i iznad – 0,1 V može predstavljati značajnu koncentraciju Fe^{2+} u ravnoteži. Ovo uvelike pridonosi objašnjenju ponašanja željeza u podzemnim vodama gdje se relativno niski Eh može lako održavati. Također je vidljivo da u velikom rasponu Eh topljivost željeza može biti uvjetovana percipitacijom željezovih karbonata. U ovom dijelu sustava topljivost željeza ovisi o pH i otopljenim bikarbonatima, a neovisna je o Eh.

Hem (2005) ističe uvjete da bi se dijagrami mogli primijeniti na realne sustave, a to su:

1. Sustav je u ravnoteži. Reakcije koje obuhvaćaju oksidaciju ili redukciju sumpora zahtijevaju prisutnost biote za održavanje ravnoteže.
2. Krute tvari u sustavu su iste kao i one navedene u dijagramu i razumno su čiste.
3. Spojevi koji nisu dozvoljeni pri računanju su odsutni ili zanemarivi.

Kemijski procesi koji sudjeluju u koroziji željeza i čelika mogu biti lakše shvaćeni koristeći Eh-pH dijagram. Može se prikazati područje stabilnosti željeza na dijagramu kao što je to prikazano na Slici 2-1., ali ovo područje stabilnosti nalazi se u potpunosti na dijelu dijagrama gdje je voda nestabilna i zato teži da bude reducirana. Ovo implicira da se korozija željeza može očekivati u gotovo svakom okolišu gdje je izloženo vodi. Međutim tamo gdje je površina željeza u kontaktu s tekućom vodom, korozija se može usporiti formiranjem zaštitnog sloja od manje topljivog materijala.

2.1.4. Utjecaj željeza na zdravlje čovjeka

Željezo je jedan od najvažnijih minerala u organizmu, a njegova je uloga mnogostruka. Sastavni je dio mnogih bjelančevina posebno hemoglobina i mioglobina, od kojih velika većina sudjeluje u procesima staničnog disanja. U bjelančevinama se obično nalazi u obliku hema, posebnog kompleksnog spoja, koji predstavlja funkcionalni dio bjelančevina, a posebno hemoglobina, u kojem sudjeluje u vezanju kisika i njegovom isporučivanju stanicama. Prilikom staničnog disanja željezo mijenja svoje oksidacijsko stanje iz (+2) u (+3) i obrnuto. U organizmu postoje i posebne bjelančevine kao što su transferin, hemosiderin i feritin koje su zadužene za transport i skladištenje željeza. Nedostatak željeza je kod ljudi vrlo česta pojava, znatno češća kod žena nego kod muškaraca. U organizmu odraslog čovjeka ima oko 5,85 g željeza od čega je 55% vezano za hemoglobin, 10% je u mioglobinu i 17% u staničnim heminima, a oko 17% željeza nalazi se i u drugim organima kao feritin i hemosiderin. Zbog nedostatka željeza dolazi do sideropenične anemije, koju karakterizira nedovoljna količina hemoglobina u crvenim krvnim zrnima. Kako količina prenesenog kisika u organizmu ovisi o koncentraciji hemoglobina u crvenim

krvnim zrcima, tako smanjena količina željeza ograničava količinu kisika dopremljenog stanicama. Kod dugotrajnog nedostatka željeza, krv smanjuje svoju sposobnost prenošenja kisika. Simptomi su tog nedostatka brz umor, kratkoća daha, bljedilo lica, smanjene fizičke mogućnosti i smanjena otpornost organizma. Nedostatak željeza može biti izazvan različitim uzrocima. Najčešći su uzroci neodgovarajuća prehrana, razna krvarenja te nemogućnost apsorpcije željeza u organizmu. Za većinu organizama željezo je u velikim koncentracijama toksično, a za čovjeka su neki spojevi željeza kancerogeni. Pri uzimanju većih koncentracija željeza putem suplemenata može doći do jakog trovanja i do velikih oštećenja organa. Neophodno je naglasiti da se željezo u organizmu apsorbira samo u oksidacijskom stanju (+2), dok se u oksidacijskom stanju (+3) ne apsorbira.

2.2. Mangan

Iako je mangan manje zastupljen nego željezo u zemljinoj kori ipak predstavlja jedan od učestalijih elemenata i široko je rasprostranjen u stijenama i tlu. Najčešći oblici mangana u stijenama i tlima su oksidi i hidroksidi u kojima je oksidacijsko stanje elementa (+2), (+3) ili (+4) (Hem, 2005). Uglavnom se nalazi u obliku mangan dioksida. Jedna od važnijih značajki manganovog oksida je formiranje prevlaka na drugim mineralnim površinama što otežava određivanje količine prisutne u običnoj vodi. Najčešći minerali mangana su: piroluzit MnO_2 , manganit MnO(OH) , hausmanit Mn_3O_4 , braunit Mn_2O_3 , rodokrozit MnCO_3 i rodonit MnSiO_3 . Mangan se također pojavljuje kao nečistoća u željeznim oksidima, nekim silikatima i karbonatima. Struktura i sastav manganskih oksida je složeni kompleks zbog promjenjivih oksidacijskih stanja i svojstva ionske zamjene. Ova svojstva su važna u tlima i vodonosnicima kao što mogu igrati važnu ulogu u adsorpciji metala u tragovima. Male koncentracije mangana u vodi smatraju se nečistoćom. Zbog toga analiza vode uključuje određivanje mangana iako su izmjerene koncentracije obično niske (Hem, 2005).

2.2.1. Rasprostranjenost mangana

U mineralima magmatskih stijena mangan se obično nalazi u reduciranom obliku Mn^{2+} i zamjenjuje neke druge bivalentne ione slične veličine. Fero-magnezijski minerali kao biotit i hornblenda često sadrže mangan. U sedimentima, manganovi oksidi obično se javljaju kao sitnozrnati i slabokristalizirani oblici koji se lako otapaju pri odgovarajućim uvjetima. Sadržaj mangana u magmatskih stijenama varira između 0,2% (ultramafitne) i 0,06% (kisele). Vapnenac prosječno sadrži 0,11%, gline 0,07%, a pješčenjaci 30 mg/kg (Jordana i

Batista, 2004). Minerali koji sadrže mangan su rijetki. Mangan može zamijeniti željezo u mnogim silikatima i kalcij u karbonatima. Pri površinskim uvjetima je slabo mobilan. Topljivost, mobilnost i oblici pojavljivanja uvelike ovise o redoks stanju sustava. Mangan je manje mobilan pri oksidativnim i alkalnim uvjetima. Hem (2005) navodi da se brzina oksidacije Mn^{2+} i precipitacija oksidiranog oblika MnO_2 uvelike ubrzava povećanjem pH i da se reakcija odvija brže povećanjem površine minerala. Bakterije mogu utjecati na brzinu oksidacije mangana slično utjecaju bakterija na oksidaciju željeza Fe^{2+} . Pri reduktivnim uvjetima koncentracije mangana u vodi može doseći nekoliko mg/l, no prosječna koncentracija u kontinentalnoj vodi je 7 $\mu g/l$ (Jordana i Batista, 2004).

Mangan je važan element u metabolizmu biljaka i zato se očekuje da organaska cirkulacija mangana može utjecati na njegovo pojavljivanje u prirodnoj vodi. Talozi manganovih oksida javljaju se kao kora na površini stijena u riječnim koritima na određenim mjestima u svijetu. Takvi talozi također se pojavljuju u slatkovodnim jezerima kao rezultat procesa koji uzrokuje taloge močvarne željezne rude. Nodule manganovih oksida nalaze se rasprostranjene na oceanskom dnu, a pojavljuju se u plitkoj vodi kao i u velikim dubinama.

2.2.2. Mangan u podzemnim vodama

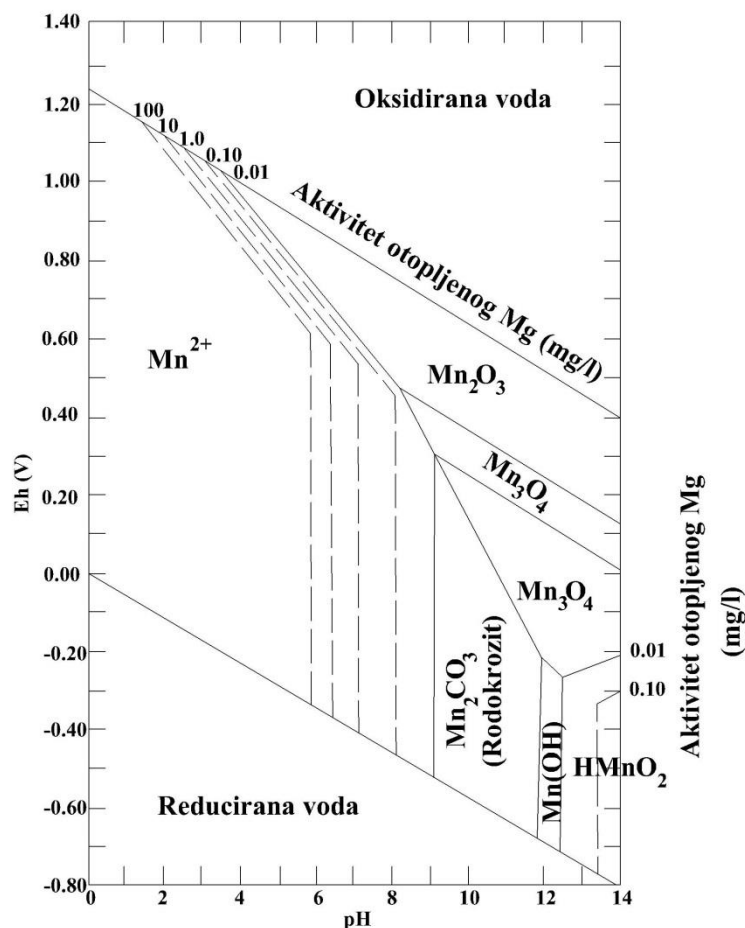
Mangan se najčešće pojavljuje zajedno s željezom u vodi, a najčešće je koncentracija željeza veća zbog njegove veće rasprostranjenosti u kori. Koncentracije mangana u podzemnoj vodi ovise o pH i redoks uvjetima. Mobilnost mangana se povećava sa smanjenjem pH. U pH-neutralnim uvjetima mobilnost je određena redoks uvjetima okoline. Pri oksidativnim uvjetima karakterističnim za mnoge plitke vodonosnike i površinske vode mangan je stabilan u oksidiranom obliku MnO_2 , koji je netopljiv. Dakle, pri takvim uvjetima koncentracije će biti jako niske. Pri reduktivnim uvjetima, mangan se reducira u topljiviji oblik, Mn^{2+} . Kao rezultat toga mnogo veće koncentracije mangana mogu se naći u reduktivnim podzemnim vodama. Sa povećanjem dubine smanjuje se koncentracija otopljenog kisika, stoga će na većim dubinama biti veće koncentracije mangana. Pri reduktivnim uvjetima i prisutnosti otopljenog sulfida, mangan može biti imobiliziran stvaranjem netopljivog manganova sulfida (MnS), ako je pH veći od 8 (Hem, 1992).

Neke podzemne vode koje sadrže visoke koncentracije željeza također sadrže značajne količine mangana, ali podzemne vode koje sadrže više mangana nego željeza nisu uobičajene. Podzemene vode koje sadrže visoku koncentraciju mangana potječu iz

termalnih izvora. Ovi izvori su blisko povezani s taloženjem manganovih oksida. Voda iz termalnih izvora može sadržavati 2,5 mg/l mangana (Hem, 2005).

2.2.3. Topljivost mangana

Topljivost mangana u prirodnoj vodi i njegove otopljene forme su prikazane u Eh-pH dijagramu (Slika 2-3.).



Slika 2-3. Dijagram polja stabilnosti za čvrste i otopljene oblike mangana (prilagođeno prema Hem, 2005)

Pri neutralnoj vrijednosti pH sustava prevladavaju otopljeni Mn^{2+} ioni, a koncentracija između 1 i 10 mg/l će biti stabilna pri Eh vrijednosti koje se mogu pronaći u površinskim vodama koje su izložene zraku (Hem, 2005). Mali porast pH će promijeniti sustav u područje stabilnosti oksida gdje Eh i pH utječu na topljivost. Oksidi su prikazani kao piroluzit, u kojem je mangan oksidacijskog stanja (+4), braunit, u kojem je mangan oksidacijskog stanja (+3) i hausmanit, u kojem se izmjenjuju Mn^{2+} i drugi oksidi mangana. Eh-pH dijagram vrijedi jedino u uvjetima kemijske ravnoteže. Brzina oksidacije i redukcije

mangana neće se dogoditi tako brzo kao što će se dogoditi reakcije željeza. Organski kompleksi mangana isto mogu utjecati na njegovo ponašanje. Koncentracija mangana od 1 mg/l relativno je stabilna u oksidiranoj vodi ukoliko je pH visok (Hem, 2005).

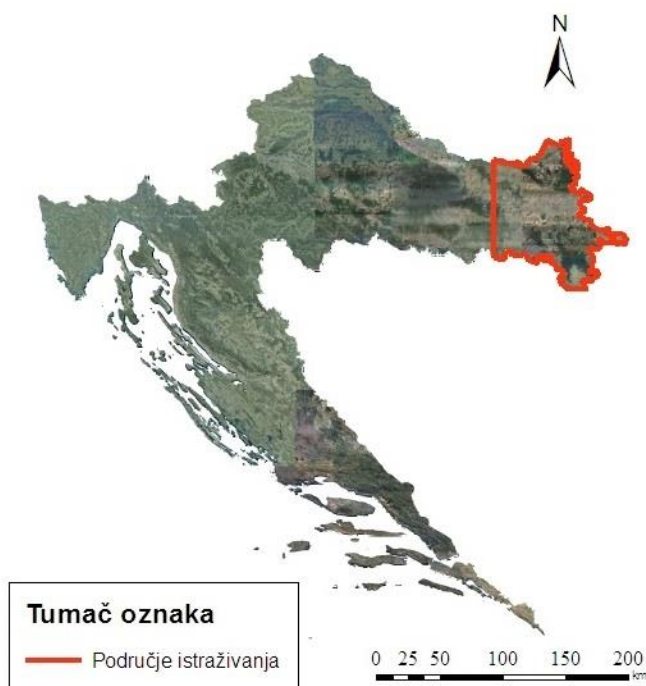
2.2.4. Utjecaj mangana na zdravlje čovjeka

Mangan je u malim količinama važan za ljudski organizam i dnevno ga se ishranom mora unositi u količini 10-20 mg, a njegov nedostatak usporuje rast i skraćuje životni vijek jer sudjeluje u reproduktivnim procesima. U većim količinama je toksičan, a trovanja nastaju udisanjem para mangana, prašine oksida (MnO_2) ili nekog drugog spoja. Prvi simptomi trovanja su umor, iscrpljenost, klonulost mišića, promjene raspoloženja, dok se u kasnoj fazi javlja drhtavica, opći simptomi Parkinsonove bolesti i skleroza. Dozvoljena koncentracija mangana u prostorijama je do 5 mg u m^3 zraka, a u vodi za piće 0,05 mg/l.

3. Područje istraživanja

Područje istraživanja obuhvaća istočni dio sjeverne Hrvatske, a s tektonskog stajališta pripada jugozapadnom dijelu Panonskog bazena. Teren istočne Slavonije gotovo je zaravnjen, a kote su u prosjeku između 80 i 95 m (Bačani, 1997). U razvijenoj hidrografskoj mreži dominiraju Sava, Drava i Dunav. Između Save i Drave nalaze se tri geotektonske jedinice i to na sjeveru istočni dio Dravske potoline, na jugu dio Slavonsko-srijemske potoline, a između njih Đakovačko-vinkovački i Vukovarski ravnjak. Đakovačko-vinkovački ravnjak prirodni je nastavak Krndije i Dilja, dok se Vukovarski ravnjak naslanja na zapadne obronke Fruške gore, a između ova dva ravnjaka "ravničasti prijevoj" predstavlja teren kod Vinkovaca (Bačani, 1997).

Prosječna temperatura zraka iznosi 10,7°C. Srednje mjesečne temperature su u porastu do srpnja kada dostižu maksimum s prosječnim mjesečnim temperaturama od 19,5°C do 21,9°C. Najhladniji mjesec je siječanj sa srednjom temperaturom od - 1,4°C do 1,2°C. U vremenu od 1959. do 1978., apsolutni maksimumi temperature zraka zabilježeni su u Osijeku 38,6°C i Slavonskom Brodu 38,2°C, a zabilježeni apsolutni minimumi su iznosili u Osijeku - 25,4°C i Slavonskom Brodu - 27,8°C. Prosječna godišnja količina oborine kreće se od 642 mm do 819 mm, pri čemu se glavni maksimum javlja u lipnju i sporedni u studenom, a glavni minimum se javlja u listopadu i sporedni u veljači (Prostorni plan Osječko-baranjske županije, 2002, Prostorni plan Brodsko-posavske županije, 2001).



Slika 3-1. Područje istraživanja

3.1. Geološke značajke istočne Slavonije

Na površini istraživanog područja nalaze se kvartarne naslage, a starije stijene otkrivene su na okolnom gorju. Geološka građa površinskog dijela je vrlo jednolična, kako kronostratigrafski jer su to sve najmlađe naslage koje pripadaju holocenu i najmlađem pleistocenu, tako i litološki jer su zastupljeni uglavnom glina, prah i pijesak koji se pojavljuju u mješavini i izmjeni (Duić, 2006). Analizom bušotinskih podataka kvartarnih naslaga Urumović i dr. (1976) zapažaju dva kontrastna dijela u općoj izmjeni sitno i krupno klastičnih sedimenata, a granica među njima označavaju uvjetnim markerom Q'. Značajke naslaga iznad markera Q' su nekonsolidiranost materijala, relativno visoki udjel propusnih gruboklastičnih slojeva i sadržaj slatkih voda, dok je ispod markera Q' stupanj konsolidacije naslaga veći, udjel propusnih gruboklastičnih slojeva smanjen i znatne su razlike u mineralizaciji slojnih voda kako po vertikali tako i horizontali, a mineralizacija vode je općenito povišena u odnosu na gornji dio jedinice (Duić, 2006). Naslage iznad markera Q' pripadaju srednjem i gornjem pleistocenu, te holocenu, a one ispod donjem pleistocenu i plioleistocenu (Urumović i dr., 1978). Na području istraživanja marker Q' se nalazi na dubini između 100 i 300 metara (Hernitz, 1983).

Naslage koje sadrže vodu pogodnu za vodoopskrbu nalaze se u području istočne Slavonije do dubine 150 najviše 200 m, a taložene su tijekom srednjeg i gornjeg pleistocena. Tada je područje bilo prekriveno plitkim jezerima i močvarama, dok je okolno bosansko i slavonsko gorje u to doba bilo kopno podložno intenzivnom trošenju i eroziji (Bačani, 1997). Transport materijala i taloženje su uvjetovani klimatskim promjenama, odnosno smjenom toplih i hladnih razdoblja. Za vrijeme toplijih razdoblja površinski tokovi prenose materijal, istovremeno razina vode u močvarama i jezerima raste, oni šire svoju površinu i međusobno se povezuju, dok za vrijeme hladnijih razdoblja vjetar ima dominantnu ulogu u transportu materijala, a tekućice se povlače u svoja korita i taložni prostor oplicava. Svaki ciklus taloženja propusnih sedimenata najčešće započinje krupnim, slabosortiranim česticama, a završava sitnozrnastim jednoličnim pijescima, nakon kojih slijede prah i glina. Klimatske prilike i tektonski pokreti rezultirali su velikom heterogenošću naslaga i u vertikalnom i u horizontalnom smjeru. Mutić (1993) je utvrdila da naslage Dravske i Slavonsko-srijemske potoline izgrađuju pretežito terigeno-fluvijalni materijal, koji je u Dravsku potolinu transportiran sa zapada, a u Slavonsko-srijemsku potolinu s juga i jugozapada, te se materijal miješa na Đakovačko-vinkovačkom i Vukovarskom ravnjaku. Tijekom srednjeg i gornjeg pleistocena ravnjak se duž sjeverne i

južne rasjedne zone diferencirano izdiže u odnosu na sjevernu i južnu depresiju i tek početkom holocena u cjelosti postaje kopno (Bačani, 1997).

Bačani (1997) navodi da su ravnjaci prekriveni eolskim sedimentima, praporima, čija se debljina kreće između 10 i 30 m na Đakovačko-vinkovačkom ravnjaku dok je na Vukovarskom ravnjaku u prosjeku nešto veća. Mineralni sastav prapornih naslaga uglavnom je unimodalan. U sastavu teške mineralne frakcije dominantni su epidot, amfiboli i granati, dok su sporedni staurolit, disten, cirkon, turmalin i dr. Sastav lake frakcije čine kvare, feldspati, kalcit i dr (Bačani, 1997). Mutić (1990) ističe kako je, u mineralnom sastavu prapora s naših ravnjaka, interesantna pojava vulkanogenih minerala kao što su apatit, cirkon, sanidin, biotit i dr.

3.2. Hidrogeološke značajke istočne Slavonije

Dubinska granica iznad koje se nalaze hidrogeološki interesantne naslage je definirana dvojako:

- s obzirom na propusnost stijena, ističe se kvartarni vodonosni kompleks koji zaliže između površine terena i markera Q' (Urumović i dr., 1976). Dakle, propusne naslage dominiraju iznad markera Q', a ispod prevladavaju slabopropusne do nepropusne naslage;
- s obzirom na fizičko-kemijske karakteristike vode, na promatranom području se po dubini izdvajaju dvije hidrogeološke zone (Miletić i dr., 1975). Prva hidrogeološka zona sadrži vodu temperature ispod 20°C i mineralizacije ispod 2000 mg/l otopljenih tvari, dok su u drugoj hidrogeološkoj zoni temperatura i mineralizacija vode iznad navedenih vrijednosti. Bačani (1997) navodi da se granica između zona nalazi na dubini između 71 i 262 m u Dravskom području, dok je između 63.5 i 295 m u Savskom području, a u središnjem izdignutom području je između 90 i 148 m.

Na području istočne Slavonije unutar prve hidrogeološke zone Miletić i dr. (1986) utvrđuju četiri vodonosna sloja, te ih od površine prema dubini nazivaju: *Velika Kopanica*, *Vinkovci*, *Nijemci* i *Strizivojna*. Prvi vodonosni sloj (*Velika Kopanica*) se prostire uz Savu, šljunkovitog je sastava, sadrži značajne zalihe podzemne vode, a prihranjuje se infiltracijom oborina i dotokom iz Save. Drugi vodonosni sloj (*Vinkovci*) se prostire na cijelom području istočne Slavonije, pjeskovitog je sastava, ima ograničene zalihe podzemnih voda i ograničene mogućnosti obnavljanja. Treći i četvrti vodonosni slojevi (*Nijemci* i *Strizivojna*) se također prostiru na cijelom području i pjeskovitog su sastava, imaju ograničene zalihe s vrlo malom mogućnošću obnavljanja i problematičnom kvalitetom podzemnih voda (Bačani, 1997).

U istraživanom prostoru postoje dva sliva, i to dravski na sjeveru i savski na jugu, a njihova površinska i podzemna razvodnica se proteže Đakovačko-vinkovačkim i Vukovarskim ravnjakom. Bačani (1997) zaključuje da litološki kontinuitet vodonosnih slojeva duž rasjednih zona ravnjaka nije prekinut, te da na razvodnici slivova ne postoji nepropusna hidraulička granica, čime se prostor istočne Slavonije smatra jednim

hidrauličkim sustavom unutar kojeg postoje zone s različitim vrijednostima transmisivnosti.

3.2.1. Hidrogeološke značajke Dravske potoline

U Dravskoj potolini se debljina kvartarnog vodonosnog kompleksa kreće od 100 do preko 250 m. Ovisno o lokaciji, ukupan broj vodonosnih slojeva se kreće od 5 do 17, a najveća debljina pojedinih slojeva iznosi do 40 m (Bačani i dr., 1999). Propusne slojeve izgrađuju pijesak i rijetko šljunak, dok prah i glina izgrađuju slabopropusne slojeve pri čemu dominira prah nad glinom. Debljina krovinskih naslaga vodonosnog sustava kreće se uglavnom od 10 do 30 m, a po litološkom sastavu to su prašinate gline do glinoviti prah, često s lećama ili proslojcima pijeska (Bačani, 1997).

Podzemne vode se obnavljaju infiltracijom oborina, čije se prosječne godišnje vrijednosti kreću oko 14 do 16% visine godišnjih oborina (Duić, 2006). Obnavljanje podzemnih voda u dubljim vodonosnicima odvija se procjeđivanjem kroz polupropusne međuslojeve. Dakle, vodonosni slojevi su po tipu poluzatvoreni, dok se zatvorenim smatraju dublji vodonosni slojevi. Prosječne vrijednosti hidrauličke vodljivosti (K) kreću se od 10 do 20 m/dan, a vrijednosti koeficijenta uskladištenja (S) se kreću od $4 \cdot 10^{-5}$ do $3 \cdot 10^{-3}$, dok se transmisivnost kreće u rasponu od ispod 70 pa do preko 1000 m²/dan (Bačani i dr., 1999). Bačani (1997) navodi da su veliki raspon vrijednosti posljedica različite dubine bušenja, odnosno različite debljine ukupno zahvaćenih vodonosnih slojeva.

Podzemne vode uglavnom su kalcijsko-hidrokarbonatnog tipa. Za katione postoje varijacije od kalcijsko-natrijskih i kalcijsko-magnezijskih do izrazito kalcijskih voda, dok u anionskom sastavu prevladavaju hidrokarbonati (Bačani, 1997).

3.2.2. Hidrogeološke značajke Savske potoline

U Savskoj potolini kvartarni vodonosni kompleks zaliježe do dubine 200 m, a hidrogeološki se bitno razlikuje područje uz Savu od onog koje se prostire sjeverno i istočno od prvog.

3.2.2.1. Vodonosni sloj *Velika Kopanica*

Vodonosni sloj se prostire uz Savu, a njegova debljina doseže vrijednosti preko 90 m (Bačani, 1997). Za ovaj sloj je značajna kontinuiranost na velikom prostoru, ali i nehomogenost, s čestim promjenama litološkog sastava i u vertikalnom razrezu i bočno.

Čine ga šljunkovito-pjeskovite naslage najmlađeg kvartara donijete s juga, s lećama i proslojcima gline i praha (Capar, 1992). Dakle, može se reći da u litološkom sastavu većinom prevladava šljunak. Debljina krovine je najmanja uz Savu gdje iznosi oko 10 m dok udaljavajući se prema sjeveru postupno raste do 40 m, a izgrađena je od prašinasto-glinovitih i pjeskovitih naslaga (Bačani, 1997).

Kao što je već ranije napomenuto, obnavljanje podzemnih voda ovog sloja osigurano je dijelom infiltracijom oborina, a većim dijelom dotokom iz Save (Capar, 1992). Prosječne vrijednosti hidrauličke vodljivosti (K) kreću se od 30 do 200 m/dan, a vrijednosti koeficijenta uskladištenja (S) se kreću od $1,7 \cdot 10^{-4}$ do $8 \cdot 10^{-3}$, dok se transmisivnost kreće u rasponu od 423 do 7344 m²/dan (Bačani i dr., 1999). Vrijednosti hidrogeoloških parametara vodonosnog sloja variraju u skladu s njegovim litološkim sastavom i debljinom, pa su veće vrijednosti dobivene u zapadnom dijelu gdje je sloj izgrađen od krupnijeg zrna i gdje su mu debljine veće, dok prema istoku se povećava udjel sitnije frakcije, a debljina se smanjuje pa su i vrijednosti parametara niže (Bačani, 1997).

3.2.2.2. Vodonosni slojevi Vinkovci, Nijemci i Strizivojna

Sjeverno i istočno od prethodno opisanog šljunkovitog vodonosnog sloja, u sastavu propusnih slojeva dominira pijesak. U istom smjeru se postupno smanjuje i ukupna debljina propusnih slojeva sa vrijednosti 100, na vrijednosti ispod 50 m (Bačani, 1997). Ukupan broj vodonosnih slojeva se kreće od 2 do 11, a najveća debljina pojedinih slojeva iznosi do 30 m (Bačani i dr., 1999). Miletić i dr. (1986) su grupirali slojeve između kojih se nalaze deblji slabopropusni sloj i izdvojili 3 pjeskovita vodonosna sloja: *Vinkovci*, *Nijemci* i *Strizivojna*. U litološkom sastavu vodonosnih slojeva prevladava pijesak, dok su u dubljim vodonosnim slojevima često ima i prašinaste komponente. Slabopropusne naslage koje se nalaze između vodonosnih slojeva izgrađene su od gline i praha čiji se omjeri mijenjaju ovisno o lokaciji. Debljina krovine kreće se uglavnom od 30 do 40 m, a izgrađena je od glinovito-prašinastih naslaga s lećama pijeska (Bačani, 1997).

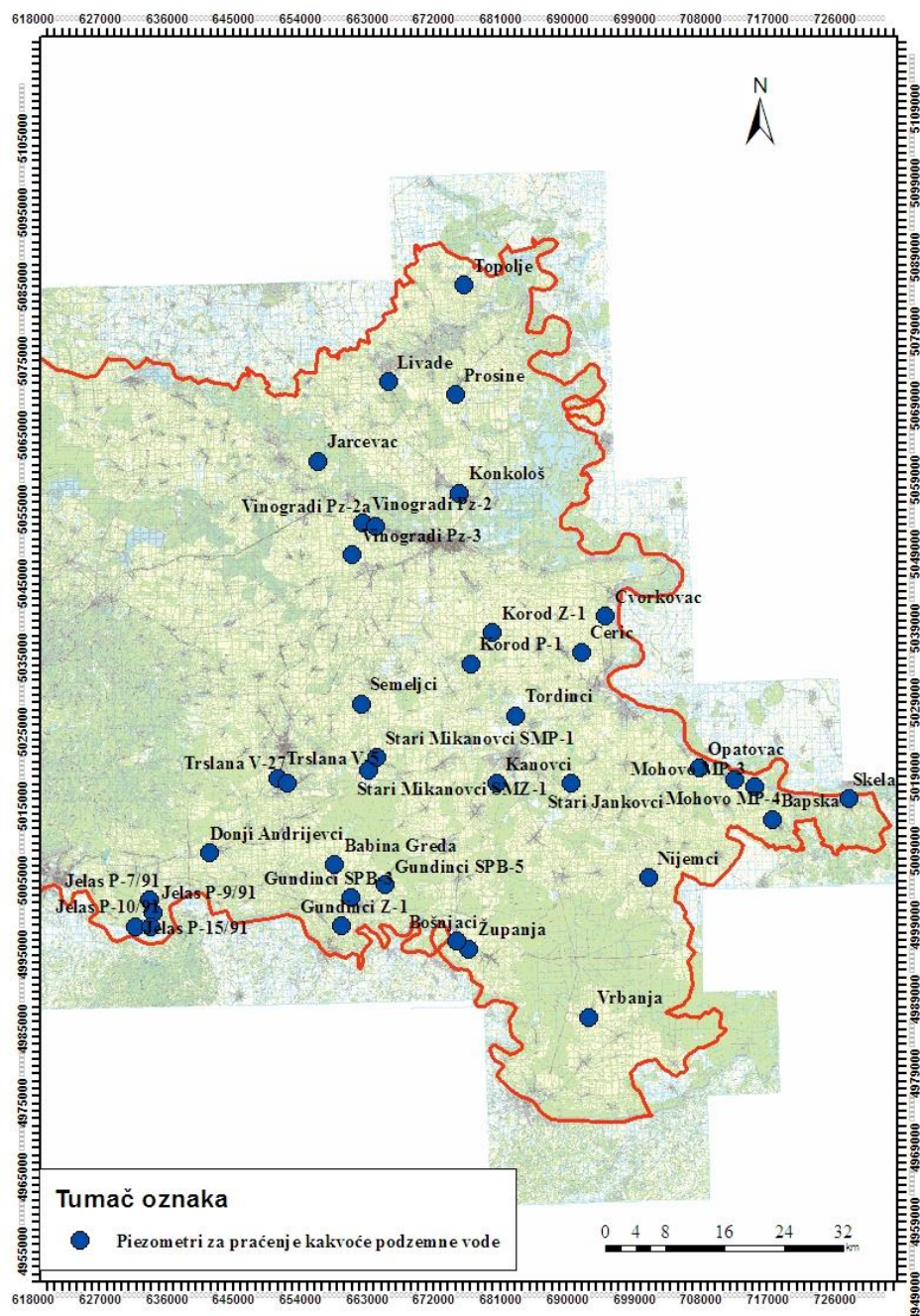
Obnavljanje podzemnih voda prvog od površine pjeskovitog sloja se odvija infiltracijom oborina, dok je obnavljanje dubljih vodonosnih slojeva otežano zbog debljih slabopropusnih međuslojeva. Prosječne vrijednosti hidrauličke vodljivosti (K) kreću se od 5,5 do 37 m/dan, a vrijednosti koeficijenta uskladištenja (S) se kreću od $1,3 \cdot 10^{-4}$ do $4,3 \cdot 10^{-3}$, dok se transmisivnost kreće u rasponu od 52 do 706 m²/dan (Bačani i dr., 1999).

3.2.3. Hidrogeološke značajke Đakovačko-vinkovačkog i Vukovarskog ravnjaka

Na području Đakovačko-vinkovačkog i Vukovarskog ravnjaka debljina kvartarnog vodonosnog kompleksa je manja od 150 m (Bačani, 1997). Ukupan broj vodonosnih slojeva se kreće od 3 do 8, a najveća debljina pojedinih slojeva iznosi 30 m (Bačani i dr., 1999). Vodonosne slojeve izgrađuje pijesak, dok su u sastavu plićih vodonosnih slojeva česte pojave šljunka, u dubljim su česte pojave prašinaste komponente. Slabopropusne međuslojeve čine glinovito-prašinaste naslage. Debljina krovinskih naslaga vodonosnog sustava kreće se uglavnom od 10 do 30 m, a izgrađene su od praha s primjesama gline i pijeska (Bačani, 1997). Obnavljanje podzemnih voda osigurano je infiltracijom oborina. Prosječne vrijednosti hidrauličke vodljivosti (K) kreću se od 5 do 30 m/dan, a vrijednosti koeficijenta uskladištenja (S) se kreću od $1,9 \cdot 10^{-4}$ do $4,4 \cdot 10^{-3}$, dok se transmisivnost kreće u rasponu od 52 do 413 m²/dan (Bačani i dr., 1999).

4. Metodologija

U okviru ovog rada analiziran je sadržaj željeza i mangana u podzemnoj vodi u odnosu na maksimalno dozvoljene koncentracije u vodi za piće (MDK vrijednosti) koje prema Pravilniku o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju (NN, br. 125/13, 141/13 i 128/15) iznose 200 µg/l za željezo i 50 µg/l za mangan. Korišteni su podaci iz nacionalnog monitoringa kakvoće podzemne vode koji provode Hrvatske vode. Analizom je obuhvaćeno 38 lokacija u razdoblju od 2009. do 2013. godine (Slika 4-1).



Slika 4-1. Lokacije piezometara nacionalnog monitoringa

5. Rezultati

Uzorci vode za piće ispitivani su na 38 lokacija: Jelas P-7/91, Jelas P-9/91, Jelas P-10/91, Jelas P-15/91, Trslana V-5, Trslana V-27, Kanovci, Nijemci, Gundinci Gundinci Z-1, Gundinci SPB-3, Gundinci SPB-5, Županja, Bošnjaci, Vrbanja, Stari Mikanovci SMZ-1, Stari Mikanovci SMP-1, Stari Jankovci, Babina Greda, Donji Andrijevi, Jarčevac, Cerić, Vinogradi Pz-2, Vinogradi Pz-2a, Vinogradi Pz-3, Skela, Mohovo MP-4, Mohovo MP-3, Bapska, Čvorkovac, Livade, Topolje, Prosine, Konkološ, Tordinci, Korod Z-1, Korod P-1, Semeljci i crpilište Opatovac. U Tablici 5-1. prikazane su vrijednosti željeza i mangana, te ostalih analiziranih parametara s navedenih lokacija.

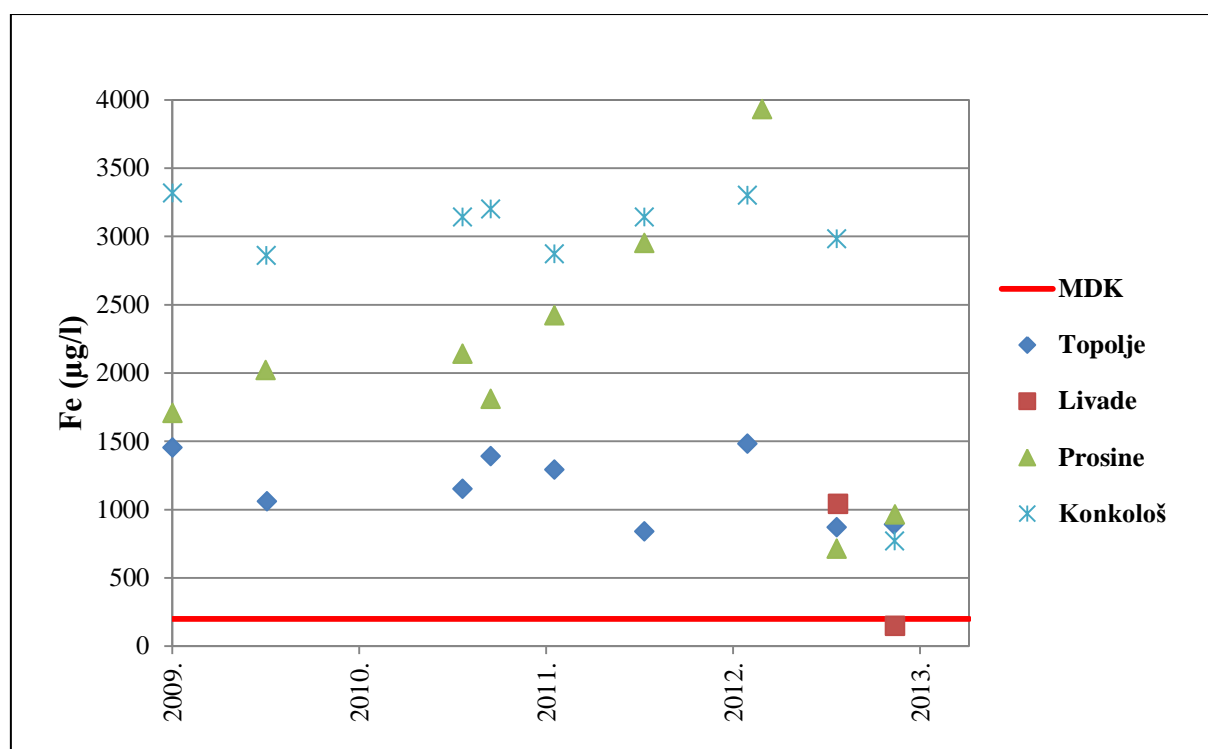
Tablica 5-1. Vrijednosti analiziranih parametara na istraživanim lokacijama

Naziv	Željezo, otopljeno ($\mu\text{gFe/l}$)	Mangan, otopljeno ($\mu\text{gMn/l}$)	pH vrijednost	Sumporovodik ($\text{mgH}_2\text{S/l}$)	Otopljeni kisik (mgO_2/l)
Jelas, P-7/91	14100-33400	199-386	6,9-7,94	0,067-0,63	0,2-2
Jelas, P-9/91	8370-24700	100-196	7-7,2	<0,005-0,07	0,2-2,9
Jelas, P-10/91	4700-16500	70,6-258	7,1-7,65	<0,01-0,51	0,2-1,9
Jelas, P-15/92	6980-10200	189-208	6,93-7,4	<0,005-0,165	0,2-2,2
Trslana, V-5	1020-8010	24,8-237	7,6-8,36	<0,005-0,07	0,8-4,1
Trslana, V-27	14,1-2530	395-1210	7,1-7,96	<0,01-1,8	0,2-6,8
Kanovci	284-3810	51-118	7,8-8,47	<0,005-0,162	0,1-5,6
Nijemci	179-1310	29,1-53,9	7,6-7,8	<0,005-1,83	0,8-1,8
Gundinci, Z-1	8,4-562	26,9-79,5	7,5-8	<0,005-0,015	0,6-2,4
Gundinci, SPB-3	37,3-1800	18,9-77,2	7,74-9,2	0,07-2,5	0,8-4,8
Gundinci, SPB-5	34,7-1560	13,6-98,9	7,7-8,1	<0,01-1,9	0,76-3,7
Županja	1530	24,2	7,88	0,015	0,8
Bošnjaci	286	18,9	7,86	0,016	1,1
Vrbanja	5,7-822	14,1-253	7,4-7,96	<0,005-<0,1	0,72-2,3
Stari Mikanovci, SMZ-1	<1-20,4	<1-2,4	7,3-7,88	<0,005-0,042	3,28-7,1
Stari Mikanovci, SMP-1	4,2-7,9	<1-<2	7,2-8,02	<0,005-<0,01	2,56-6,8
Stari Jankovci	18,7-169	4,72-21,7	7,2-8,08	<0,005-<0,1	2,3-7,2
Babina Greda	360-708	38,4-54,6	7,6-8,1	0,06-2,2	0,65-5,7
Donji Andrijevi	401-746	73,3-103	7,2-8,31	<0,005-0,012	0,24-2,4
Jarčevac	1870-7700	48,2-128	6,9-8	<0,005-0,04	0,3-6,26
Cerić	288-3670	19,6-103	7,3-7,8	<0,005-0,258	0,64-1,6
Vinogradi, Pz-2	25,2-4500	65,8-241	7,04-7,35	<0,005-0,043	0,32-6,8
Vinogradi, Pz-2a	121-5275	7,06-360	7,01-7,5	<0,005-0,11	0,72-6,9
Vinogradi, Pz-3	1730-6850	64,7-123	7,01-7,3	<0,005-0,027	0,72-5,6
Skela	2,1-6360	18,5-735	7,4-7,8	<0,005-0,102	1,3-8,9
Mohovo, MP-4	<5-223	<2-205	7,3-7,4	<0,01-2,26	2,8-6,27
Mohovo, MP-3	5,44-19	1,44-7	7,17-7,5	<0,005-0,034	7,1-9
Bapska	<1-115	<1-7	6,8-7,2	<0,005-<0,01	6,5-9,6
Čvorkovac	8,4-1360	14,4-161	7,7-9,1	<0,01	0,73-3,76
Livade	148-1040	54,9-106	7,2-7,3	<0,01	1,7-3,4

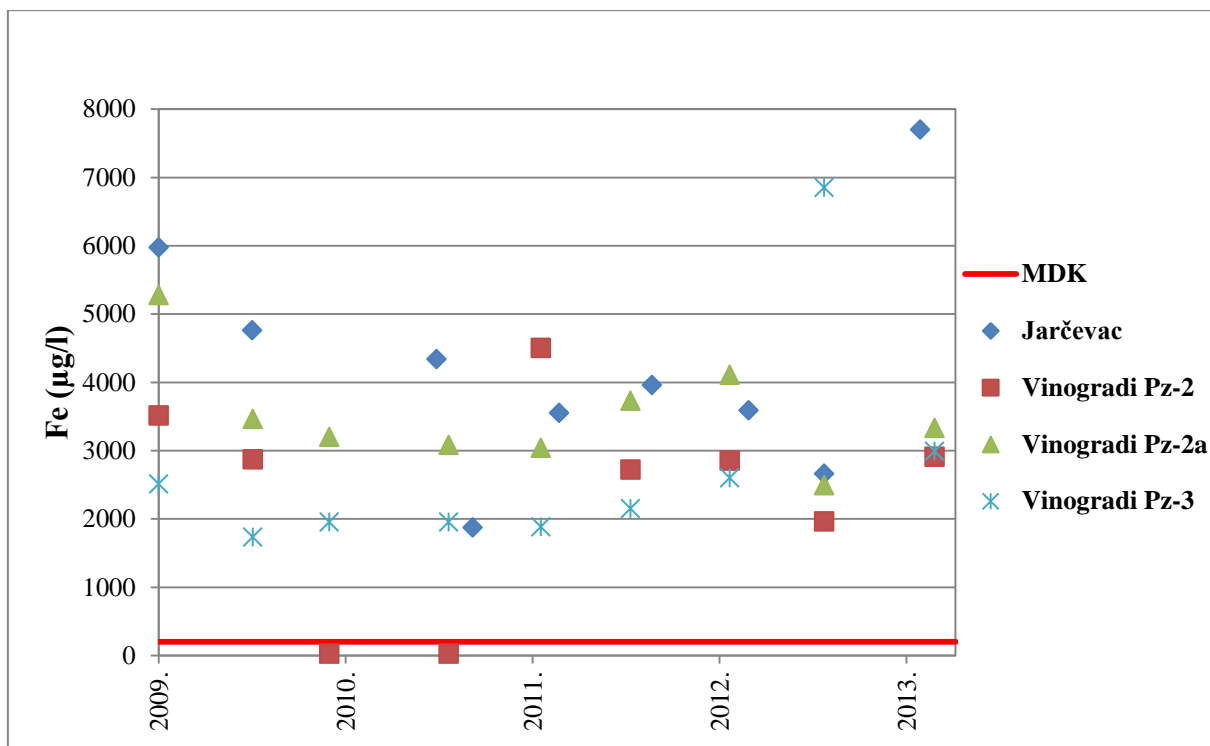
Nastavak **Tablice 5-1.** Vrijednosti analiziranih parametara na istraživanim lokacijama

Topolje	839-3220	55,2-119	7,4-7,62	<0,005-0,24	0,48-7,3
Prosine	711-3930	70,6-143	7,16-7,6	<0,01-2,26	0,2-2,5
Konkološ	769-3600	230-238	7-7,4	0,1-0,014	0,24-1,5
Tordini	25,7-723	26-129	7,5-8,25	<0,005-0,039	1,4-6,2
Korođ, Z-1	220-620	14,4-123	7,5-8	<0,005-0,081	3,2-6,46
Korođ, P-1	144-494	15,6-22,8	7,8-8,6	0,037-0,05	3,7-7,02
Semeljci	1070-9230	180-303	7,4-8,48	0,012-1,52	0,2-4,5
Opatovac	<1-1230	10,1-180	7,3-7,78	0.018	1,1-4,8

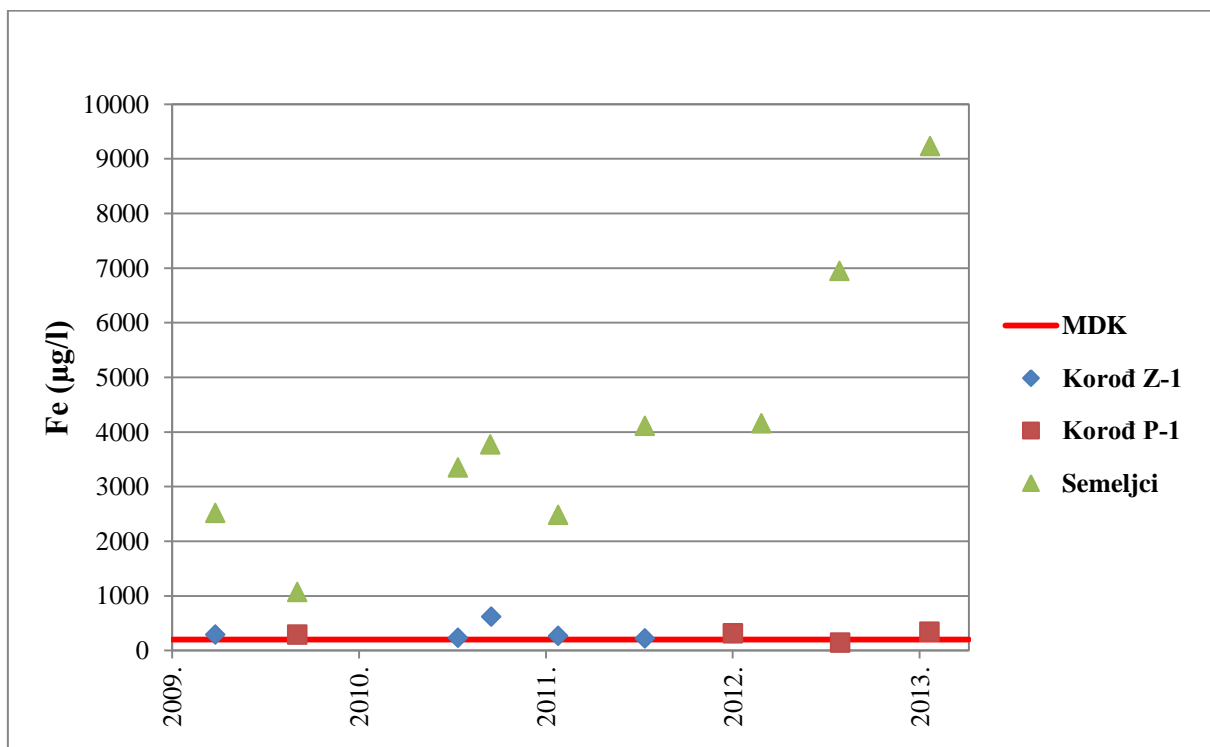
Koncentracije željeza i mangana u uzorcima podzemnih voda povezane su s nekim parametrima koji su analizirani u istom vremenskom razdoblju, te su prikazani na Slikama 5.1.-5.80.



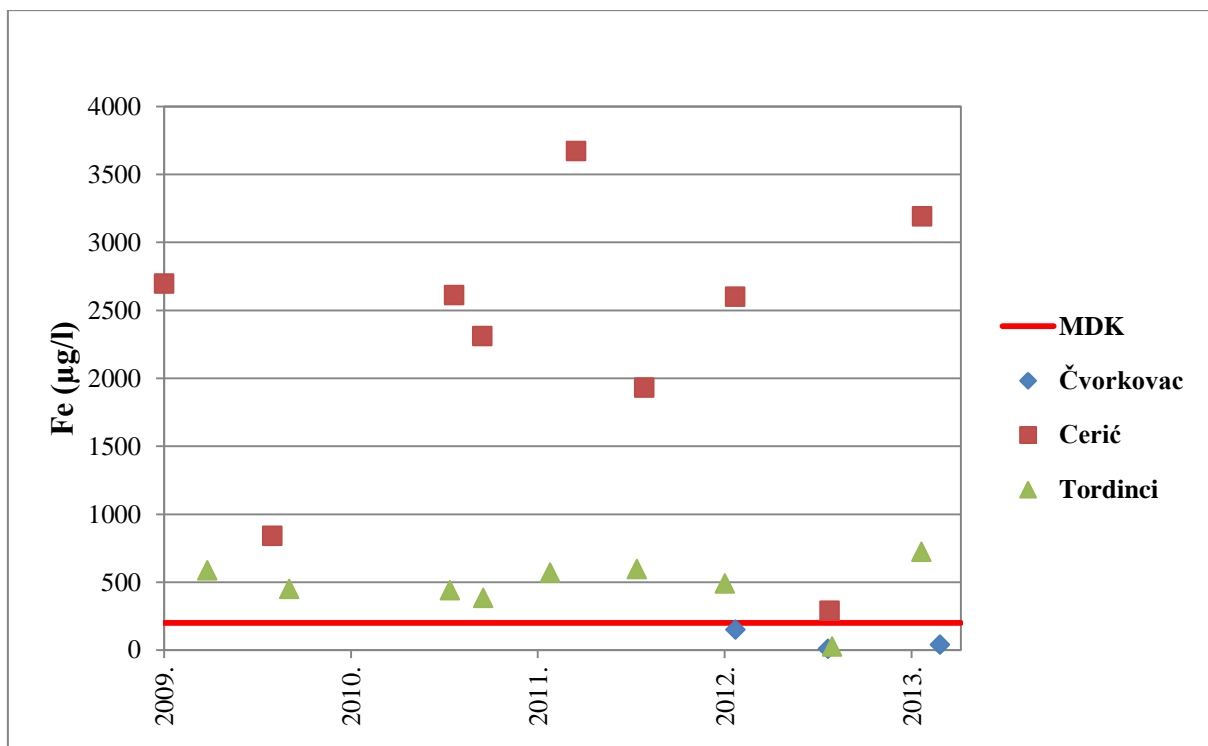
Slika 5-1. Koncentracija željeza u vremenu (Topolje, Livade, Prosine i Konkološ)



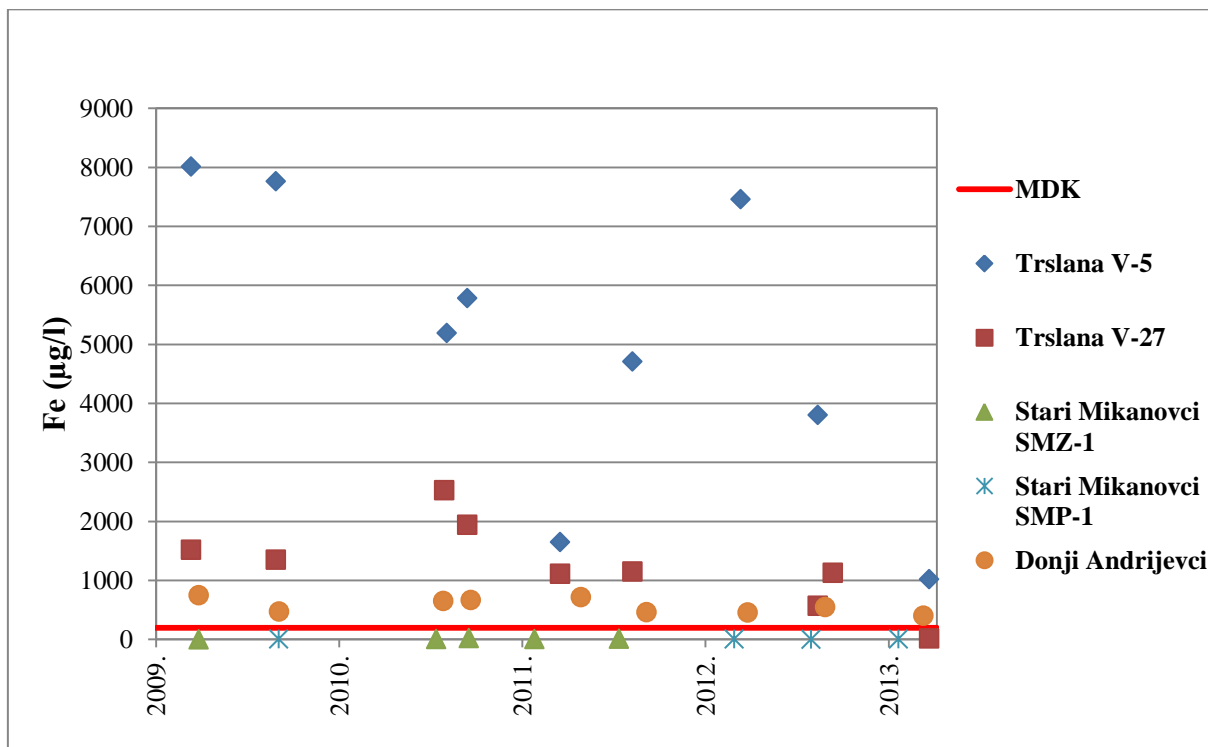
Slika 5-2. Koncentracija željeza u vremenu (Jarčevac, Vinogradi Pz-2, Vinogradi Pz-2a, Vinogradi Pz-3)



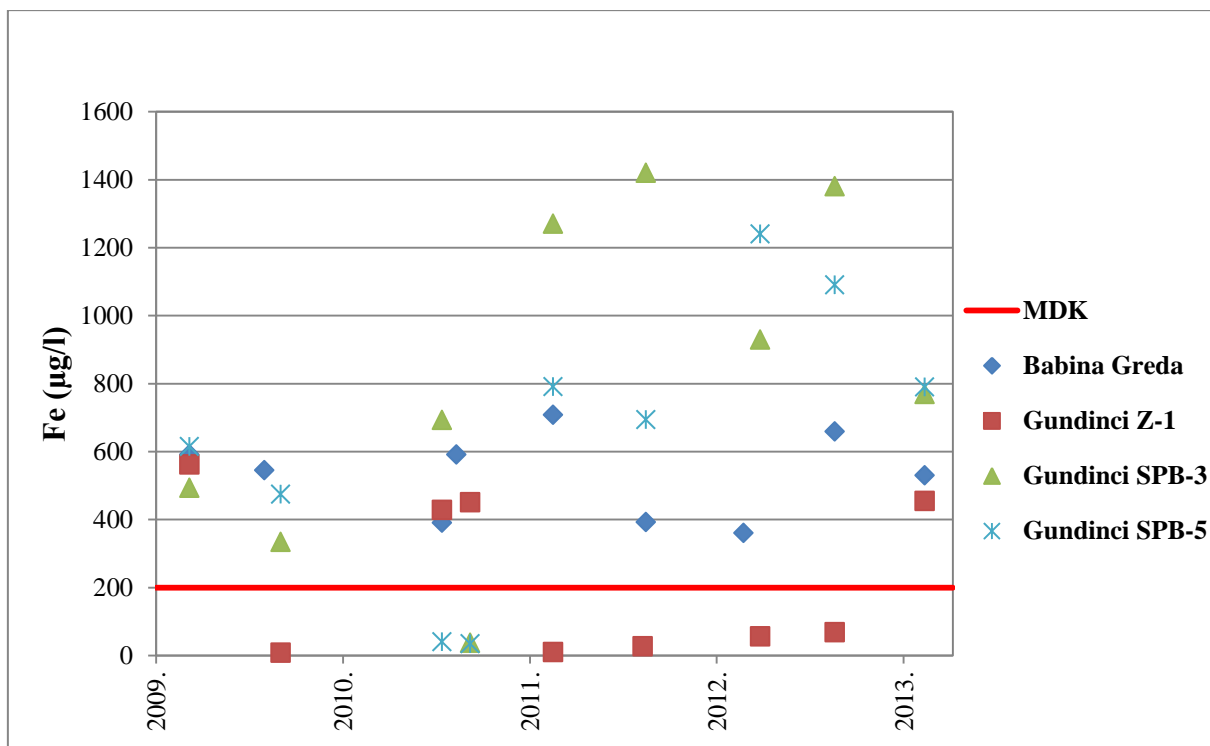
Slika 5-3. Koncentracija željeza u vremenu (Korod Z-1, Korod P-1, Semeljci)



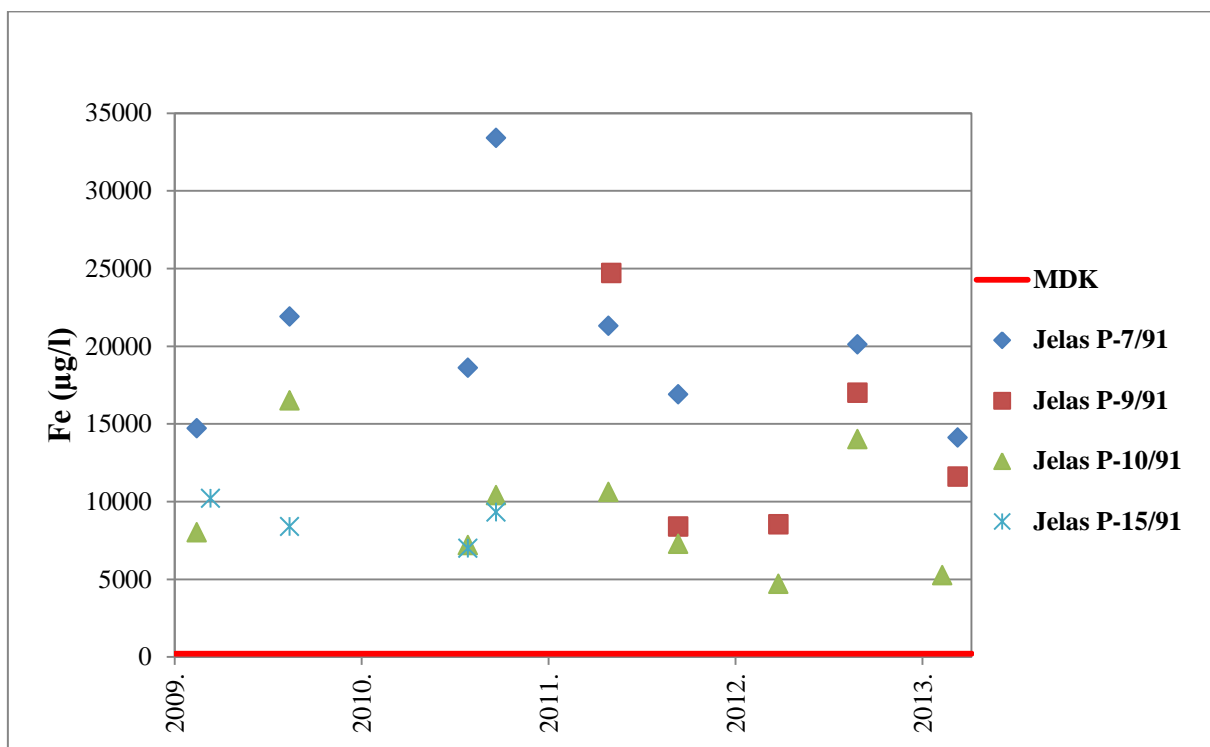
Slika 5-4. Koncentracija željeza u vremenu (Čvorkovac, Cerić, Tordinci)



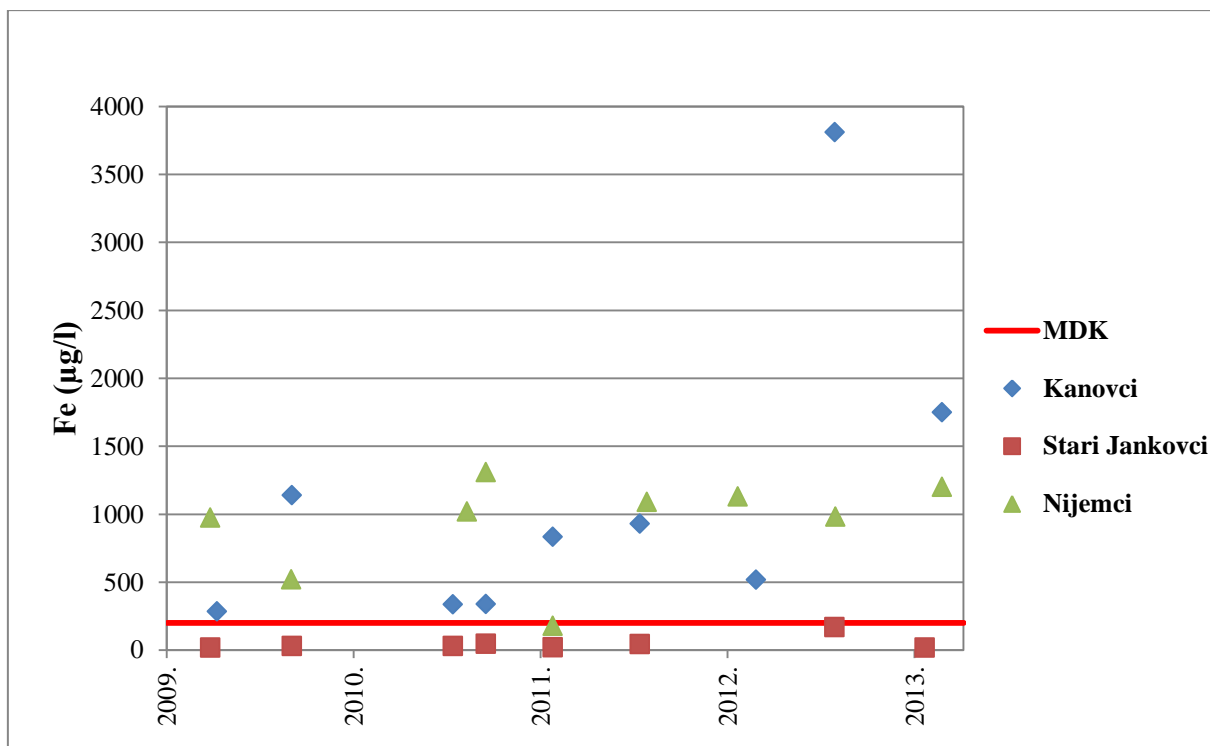
Slika 5-5. Koncentracija željeza u vremenu (Trslana V-5, Trslana V-27, Stari Mikanovci SMZ-1, Stari Mikanovci SMP-1, Donji Andrijeveci)



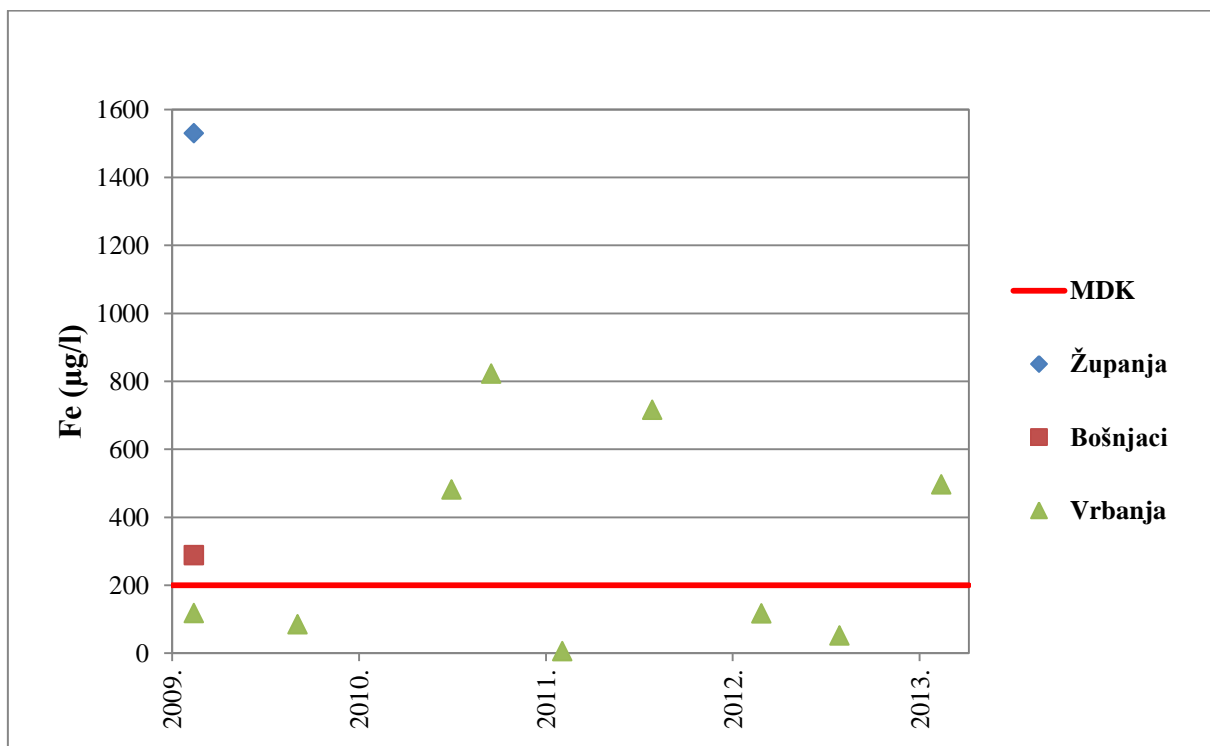
Slika 5-6. Koncentracija željeza u vremenu (Babina greda, Gundinci Z-1, Gundinci SPB-3, Gundinci SPB-5)



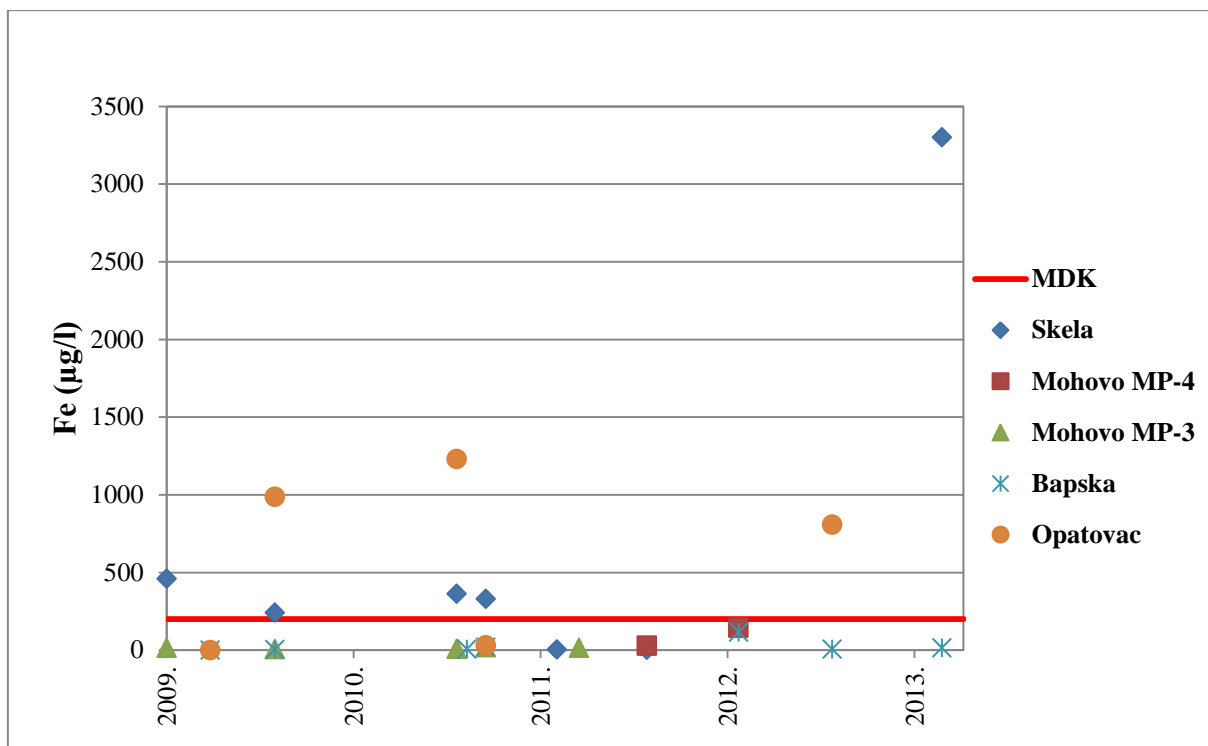
Slika 5-7. Koncentracija željeza u vremenu (Jelas P-7/91, Jelas P-9/91, Jelas P-10/91, Jelas P-15/91)



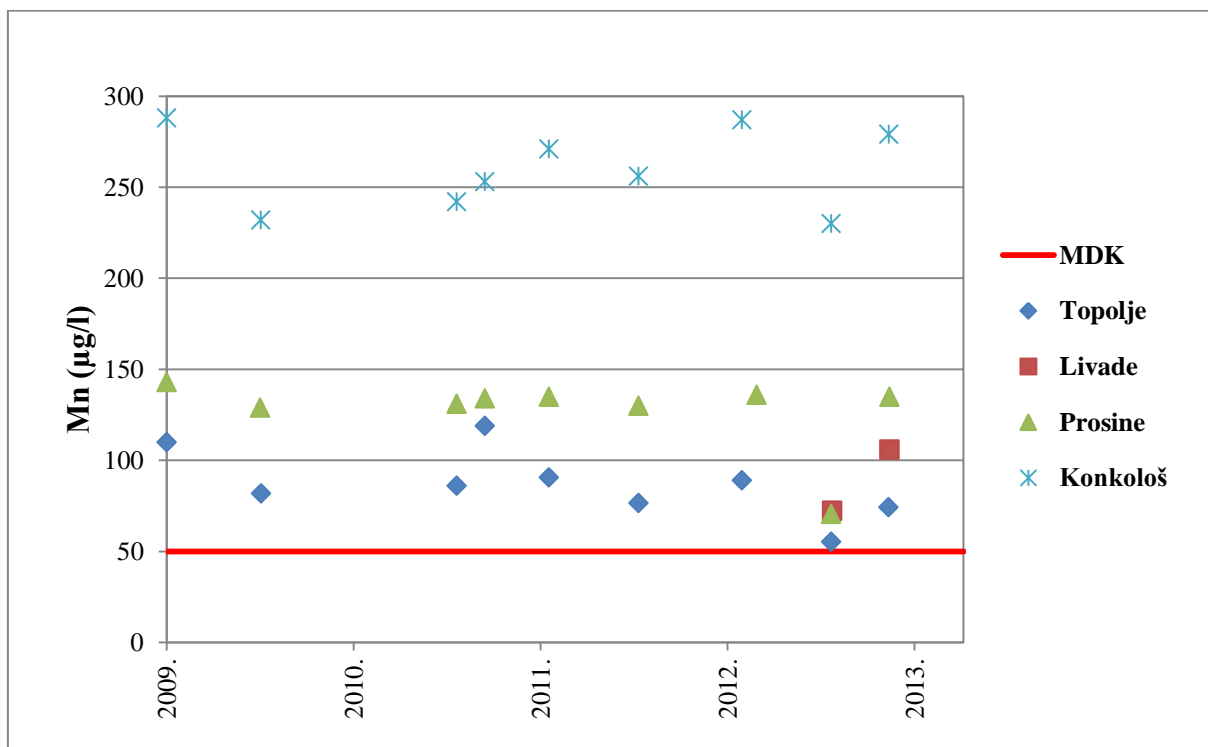
Slika 5-8. Koncentracije željeza u vremenu (Kanovci, Stari Jankovci, Nijemci)



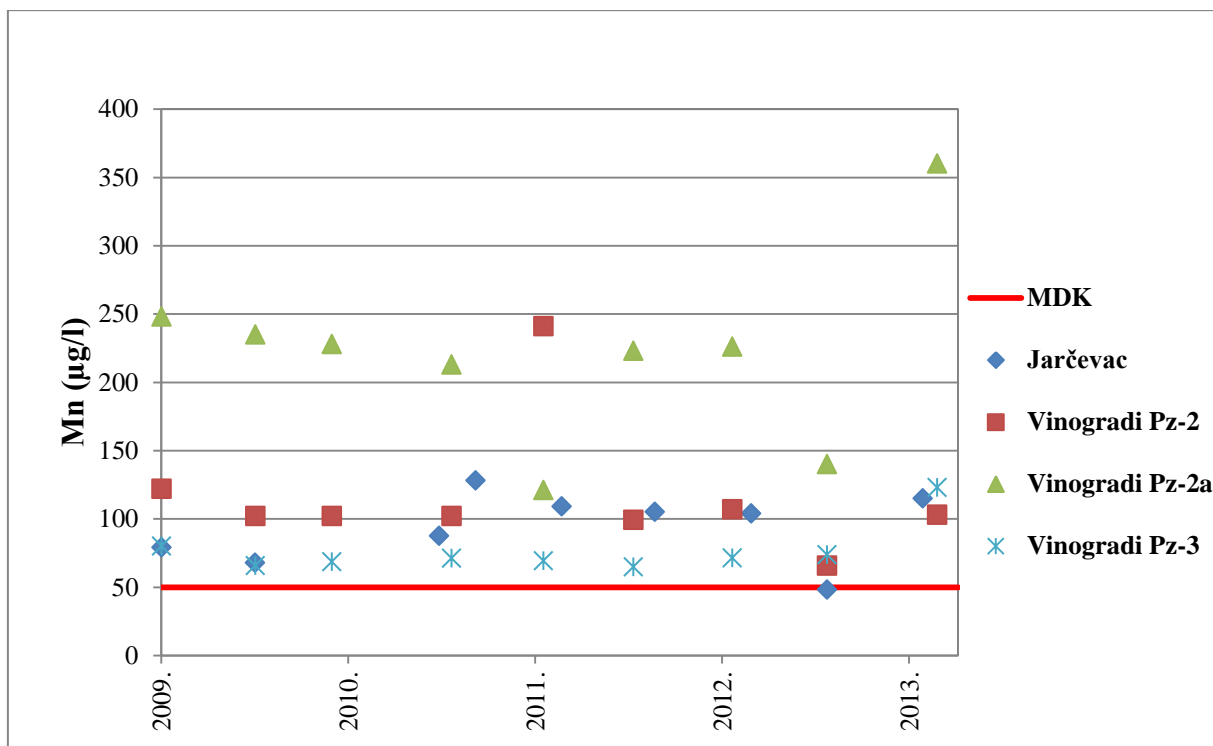
Slika 5-9. Koncentracije željeza u vremenu (Županja, Bošnjaci, Vrbanja)



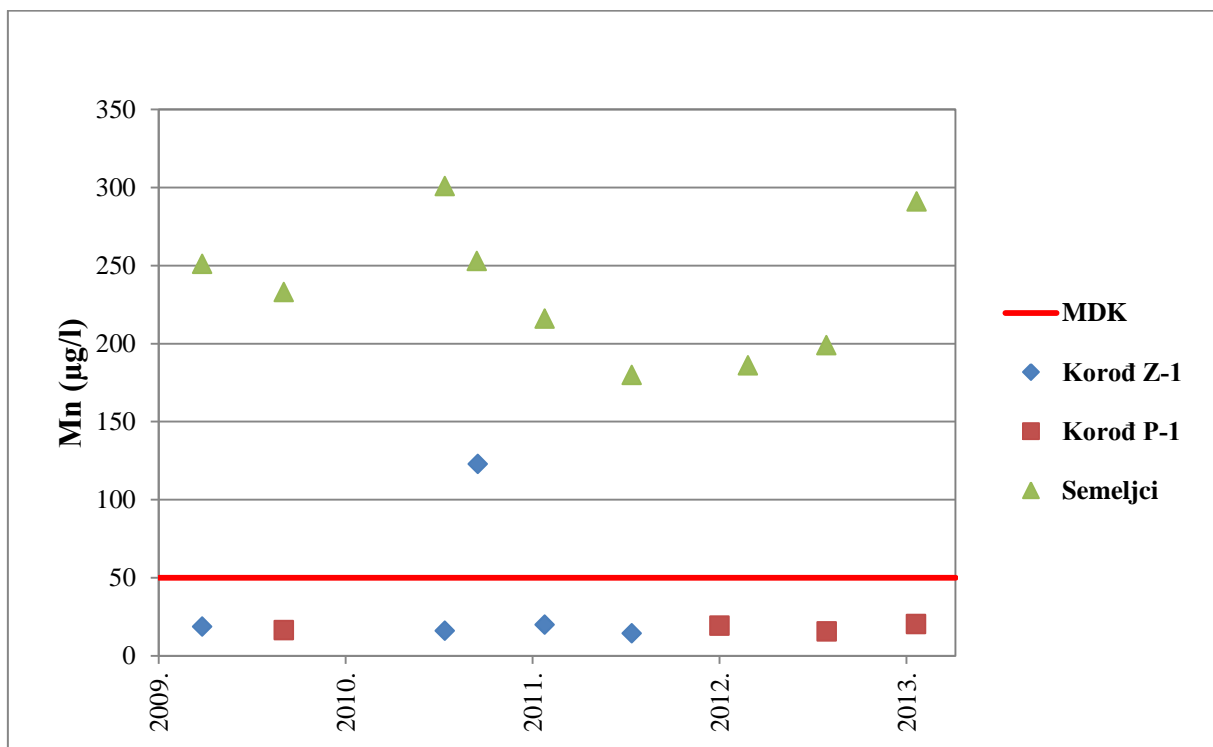
Slika 5-10. Koncentracije željeza u vremenu (Skela, Mohovo MP-4, Mohovo MP-3, Bapska, Opatovac)



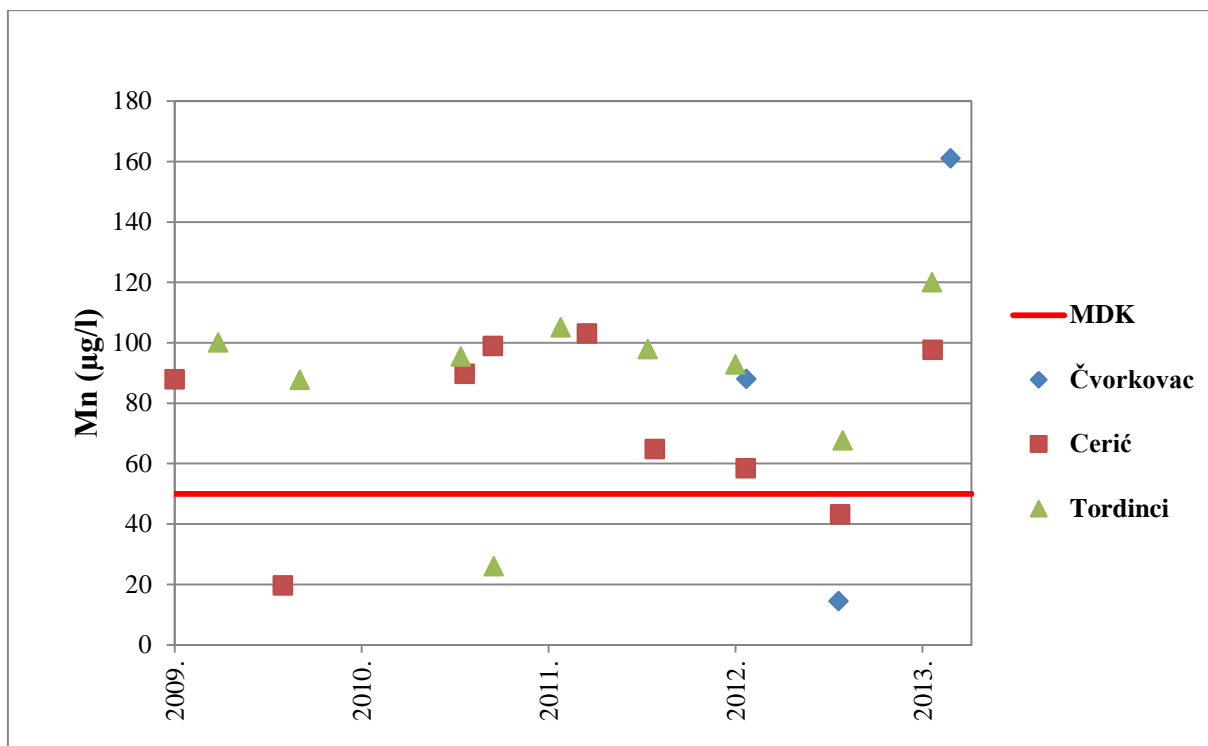
Slika 5-11. Koncentracija mangana u vremenu (Topolje, Livade, Prosine, Konkološ)



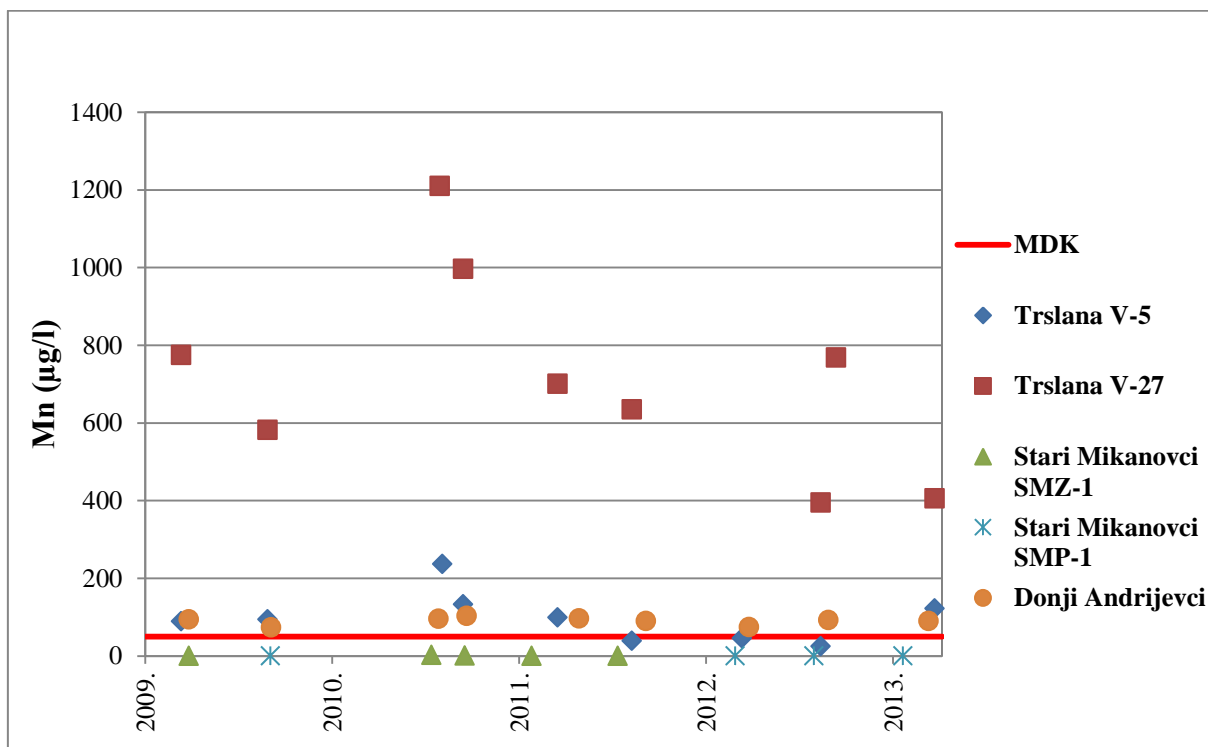
Slika 5-12. Koncentracija mangana u vremenu (Jarčevac, Vinogradi Pz-2, Vinogradi Pz-2a, Vinogradi Pz-3)



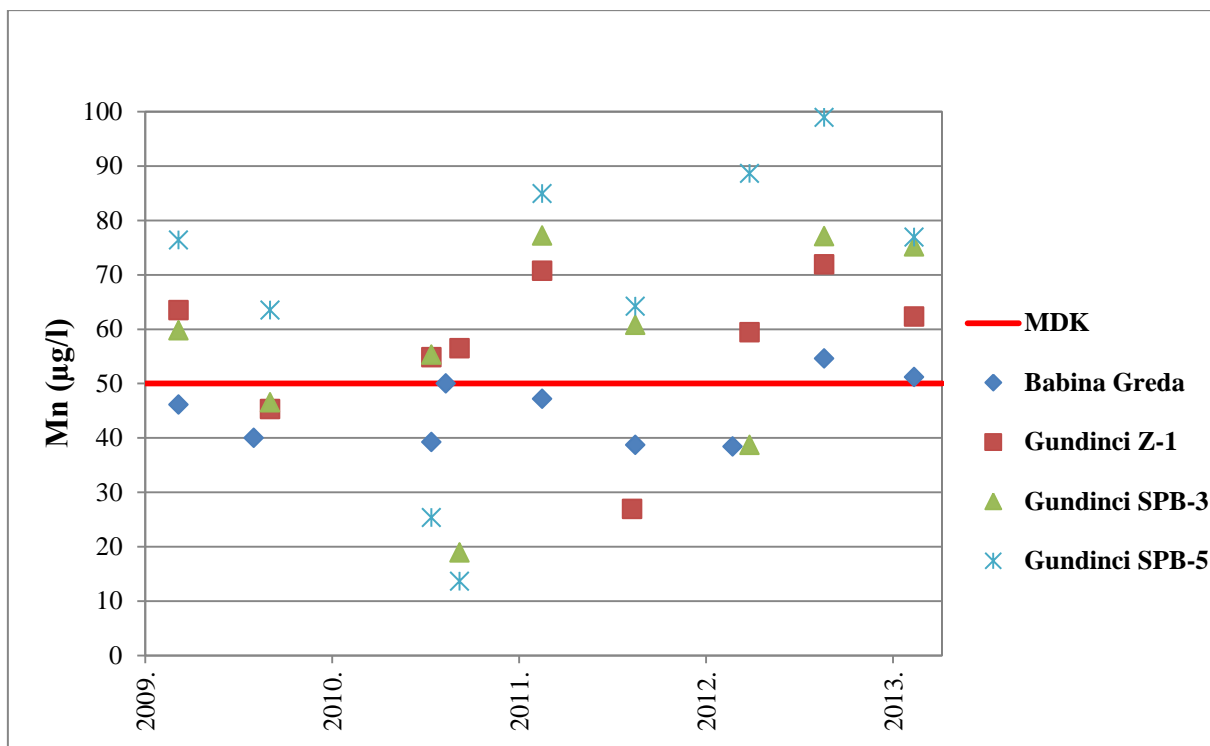
Slika 5-13. Koncentracije mangana u vremenu (Korod Z-1, Korod P-1, Semeljci)



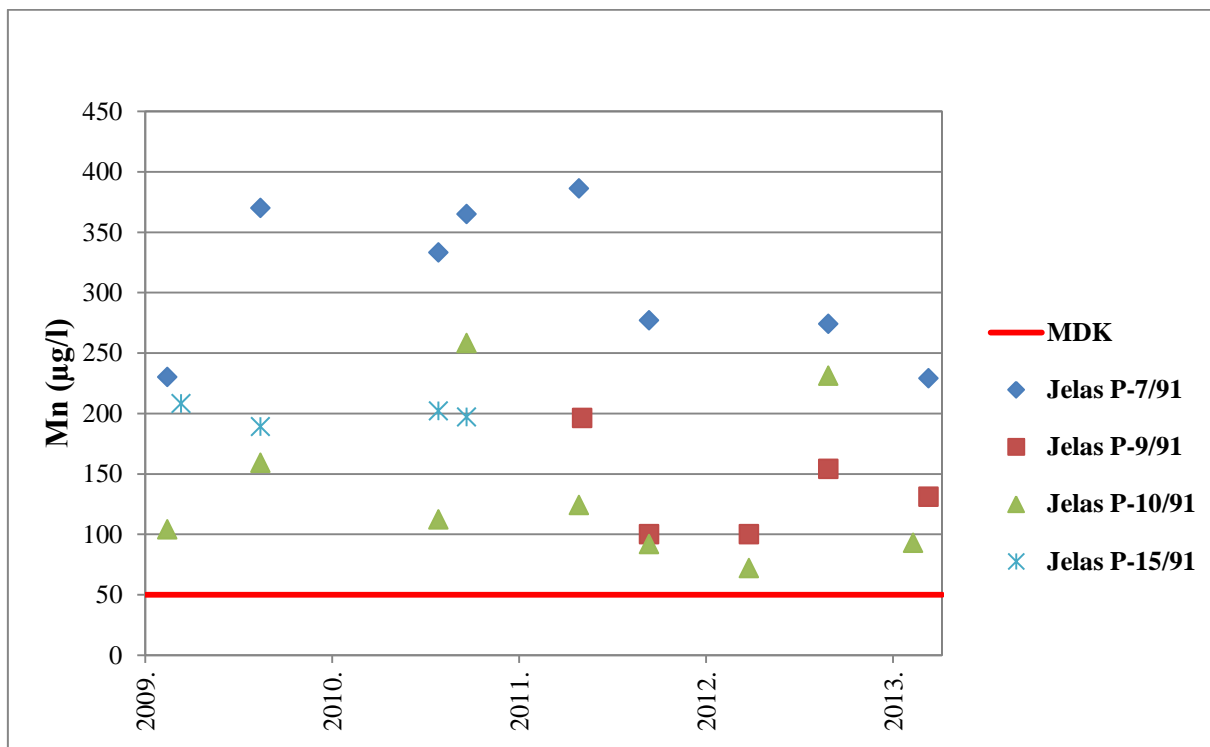
Slika 5-14. Koncentracija mangana u vremenu (Čvorkovac, Cerić, Tordinci)



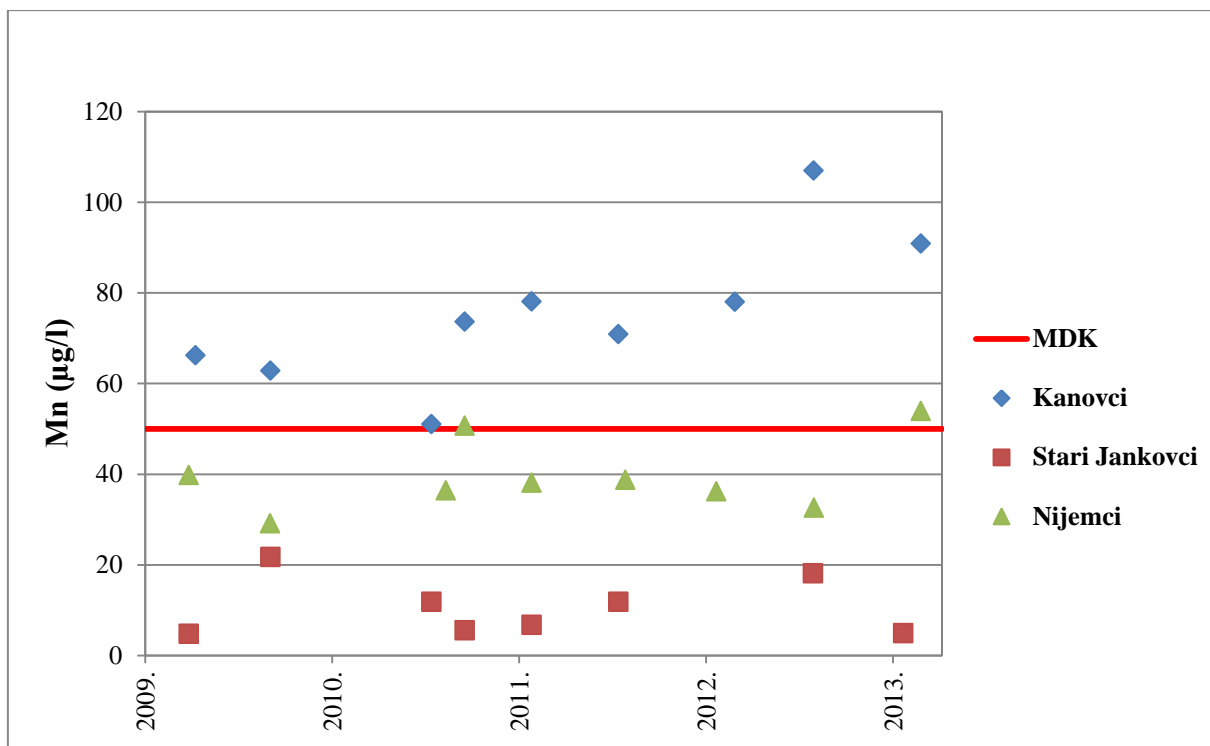
Slika 5-15. Koncentracija mangana u vremenu (Trslana V-5, Trslana V-27, Stari Mikanovci SMZ-1, Stari Mikanovci SMP-1, Donji Andrijevi)



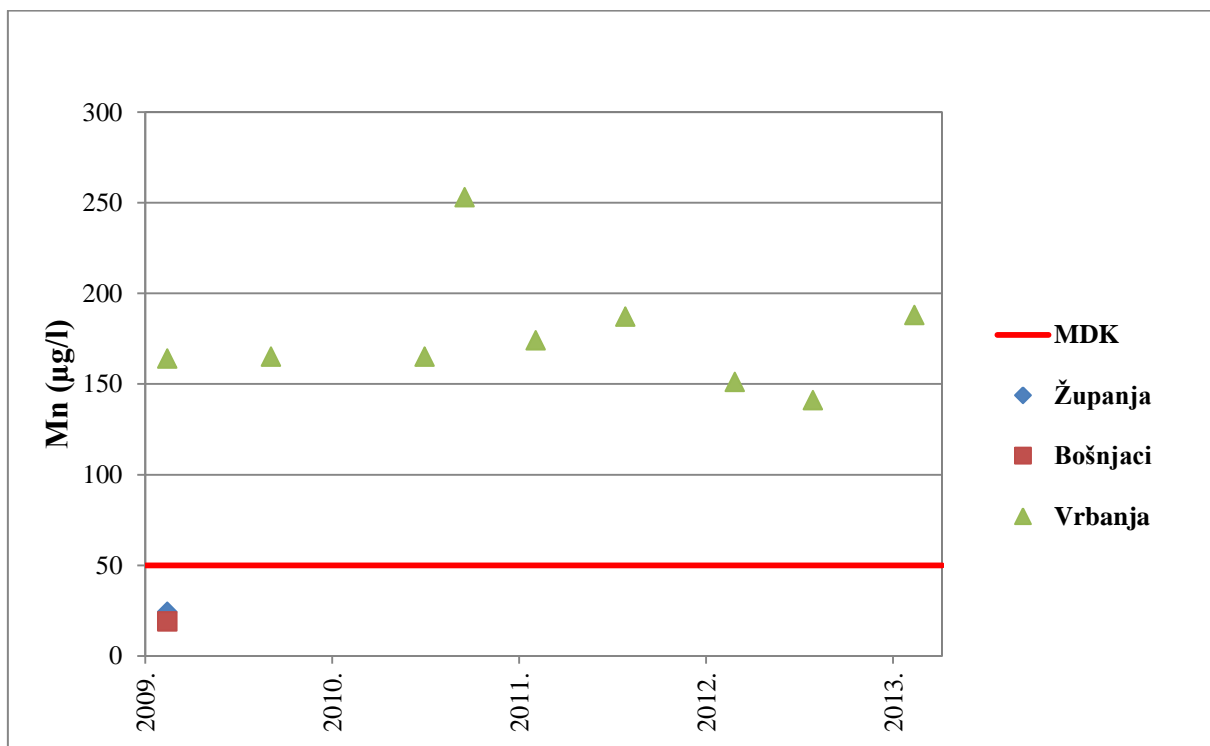
Slika 5-16. Koncentracija mangana u vremenu (Babina greda, Gundinci Z-1, Gundinci SPB-3, Gundinci SPB-5)



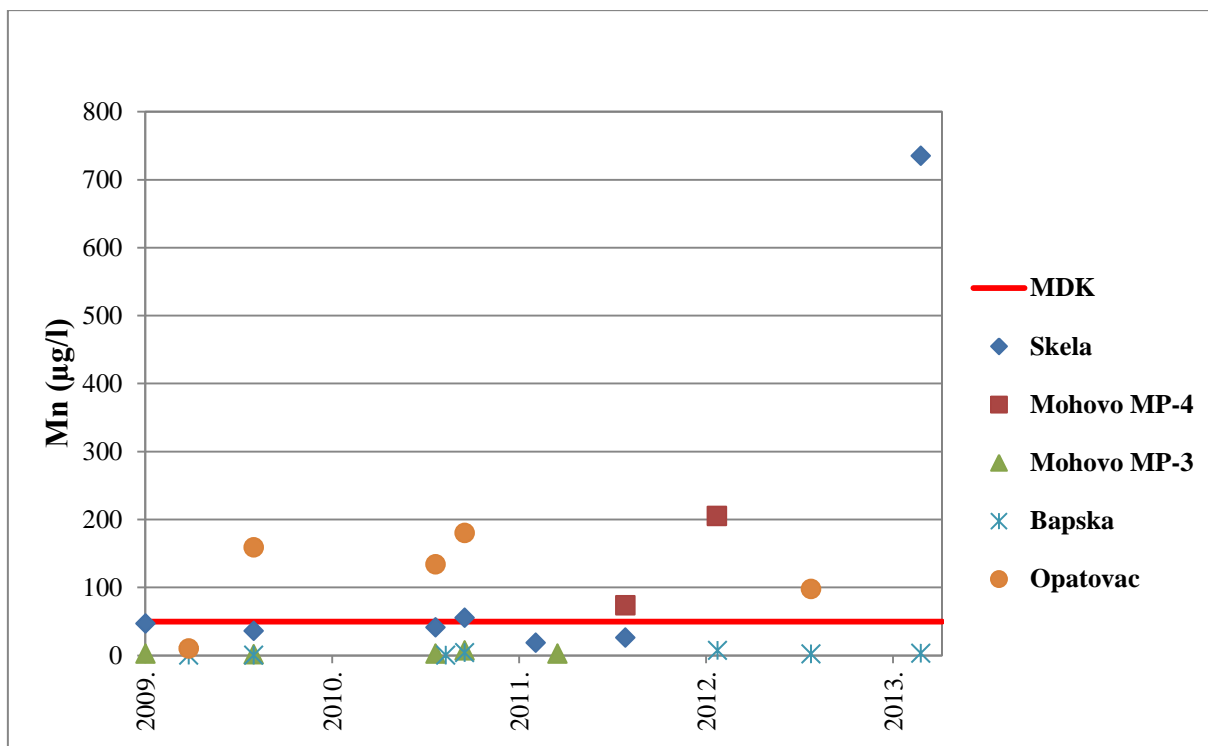
Slika 5-17. Koncentracije mangana u vremenu (Jelas P-7/91, Jelas P-9/91, Jelas P-10/91, Jelas P-15/91)



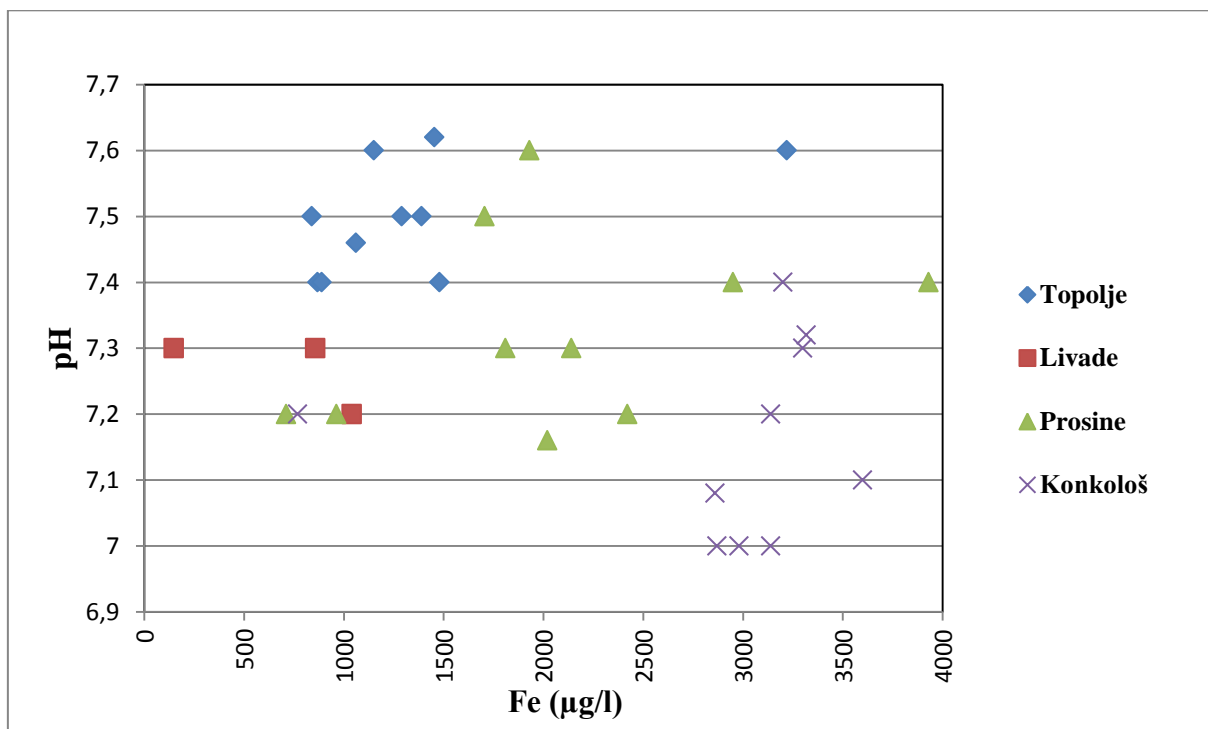
Slika 5-18. Koncentracije mangana u vremenu (Kanovci, Stari Jankovci, Nijemci)



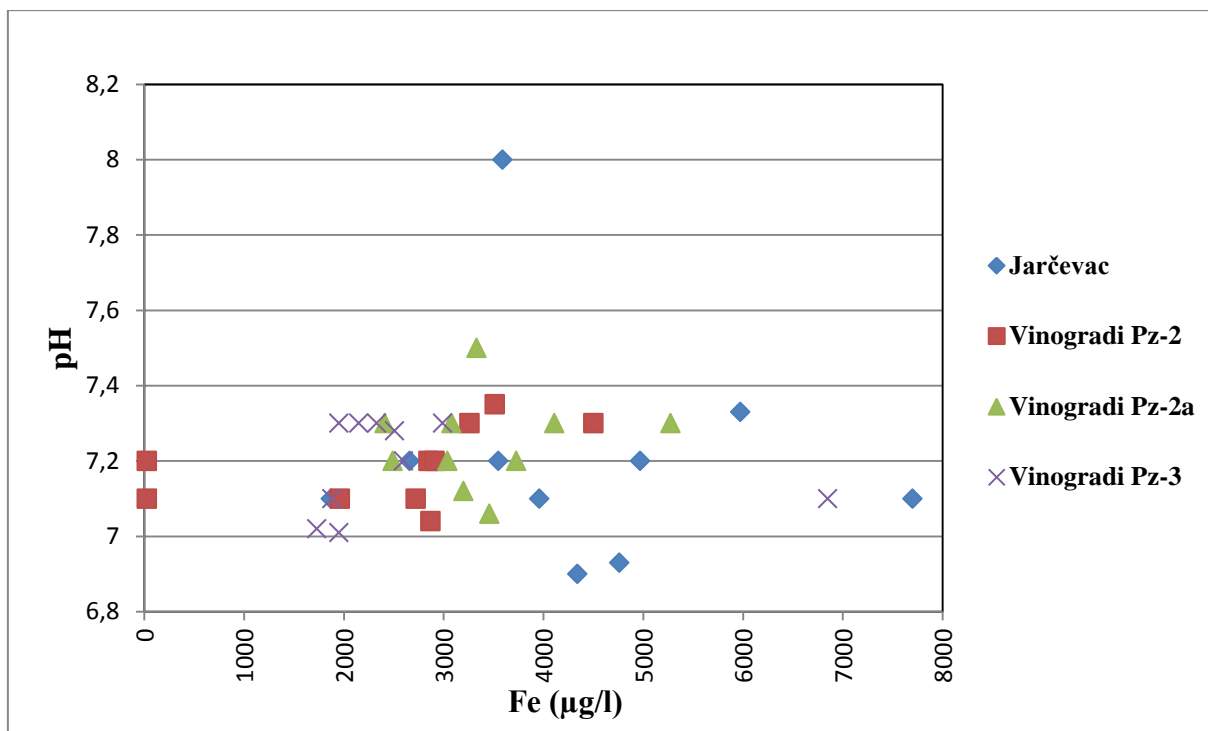
Slika 5-19. Koncentracije mangana u vremenu (Županja, Bošnjaci, Vrbanja)



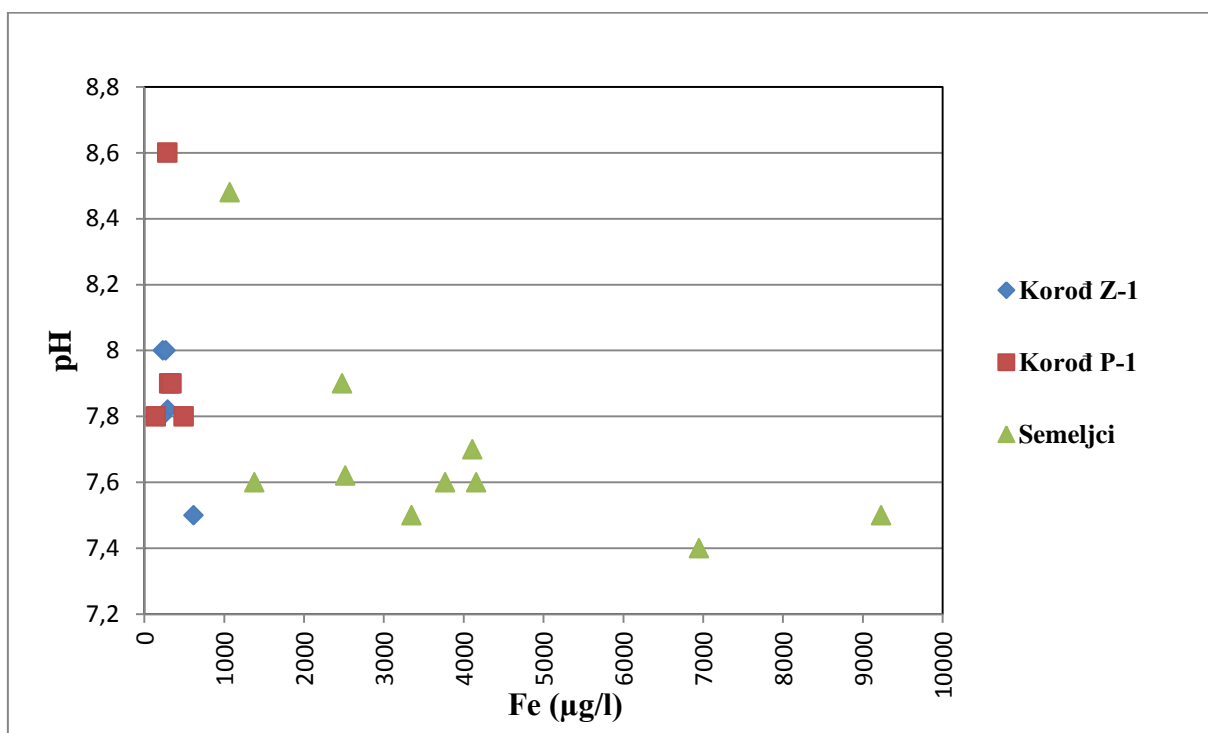
Slika 5-20. Koncentracije mangana u vremenu (Skela, Mohovo MP-4, Mohovo MP-3, Bapska, Opatovac)



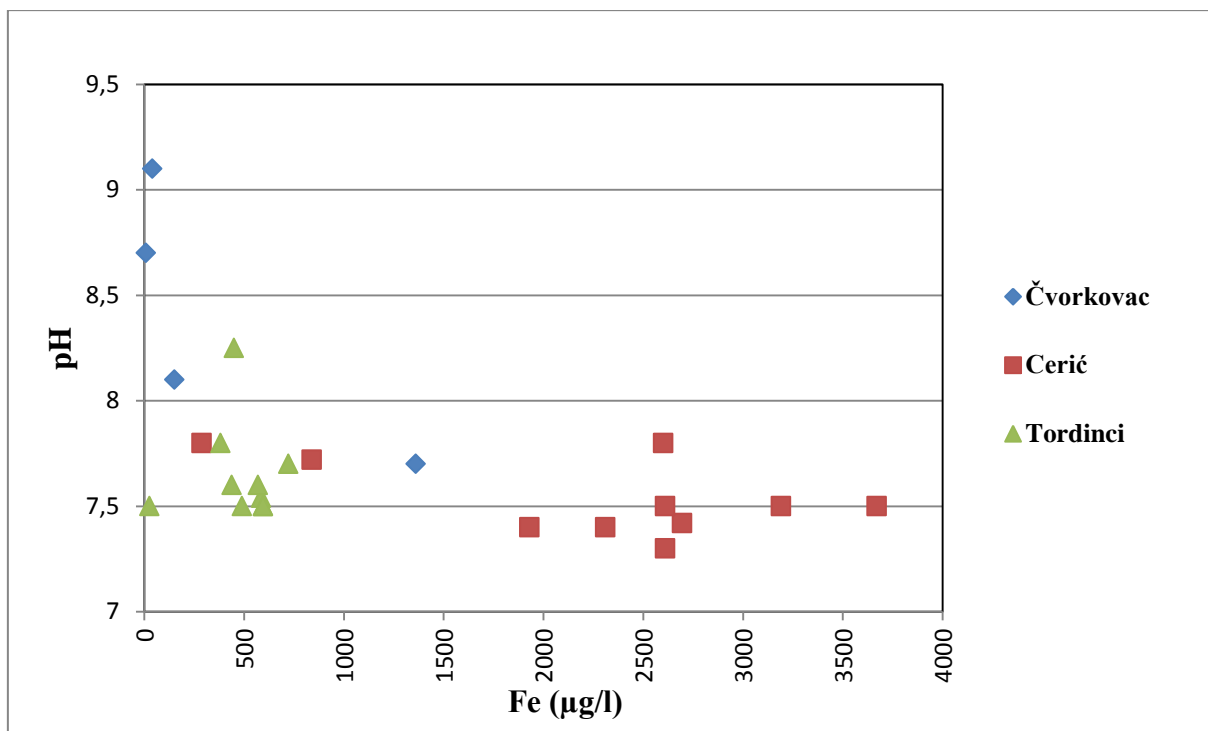
Slika 5-21. Odnos željeza i pH vrijednosti (Topolje, Livade, Prosine, Konkološ)



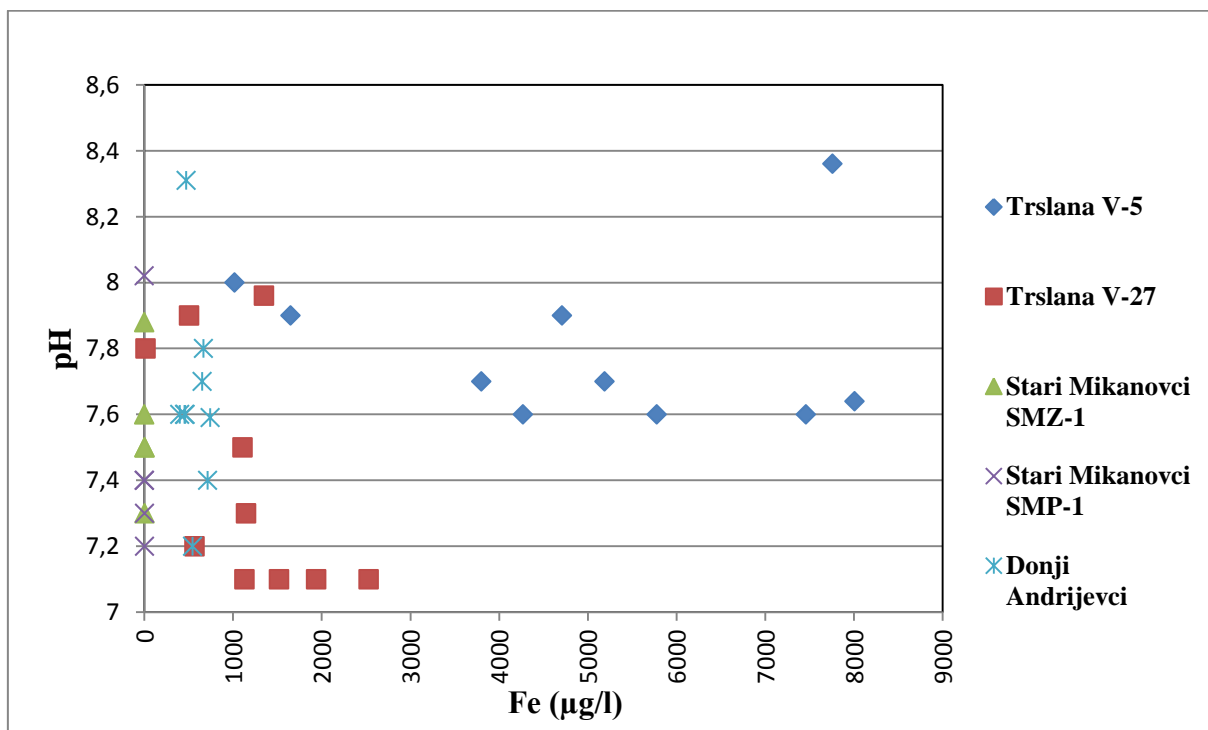
Slika 5-22. Odnos željeza i pH vrijednosti (Jarčevac, Vinogradi Pz-2, Vinogradi Pz-2a, Vinogradi Pz-3)



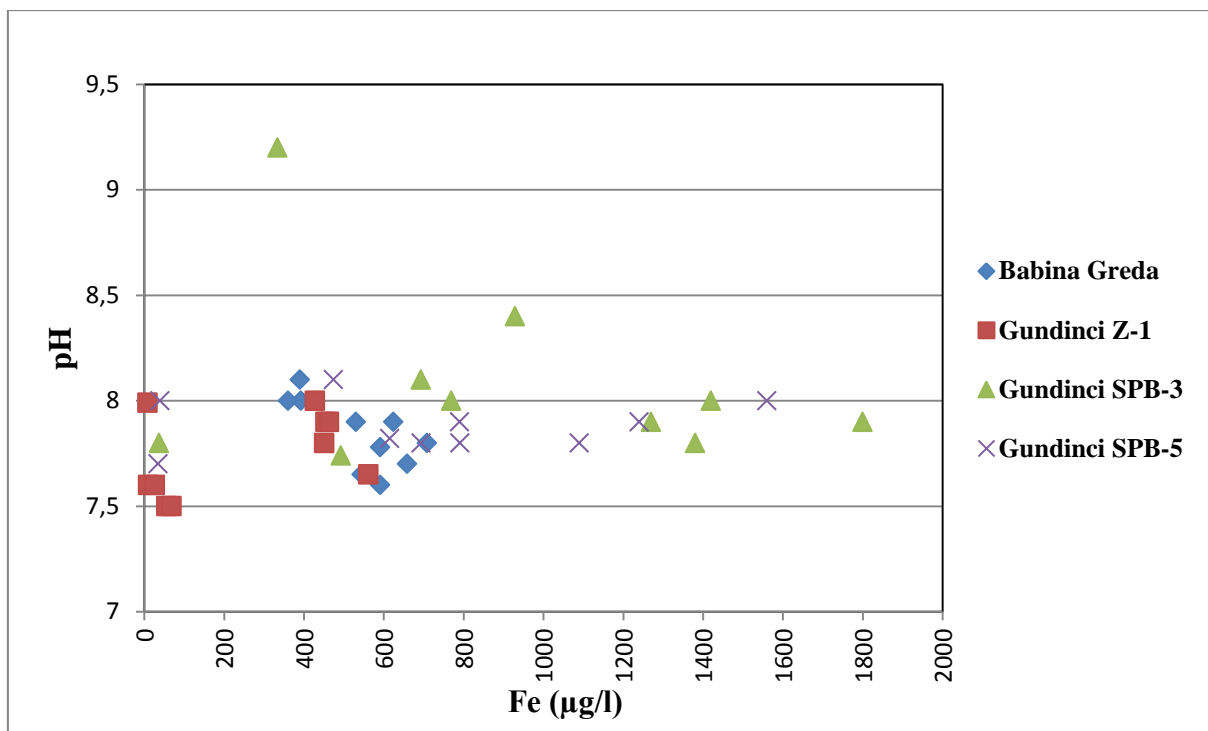
Slika 5-23. Odnos željeza i pH vrijednosti (Korod Z-1, Korod P-1, Semeljci)



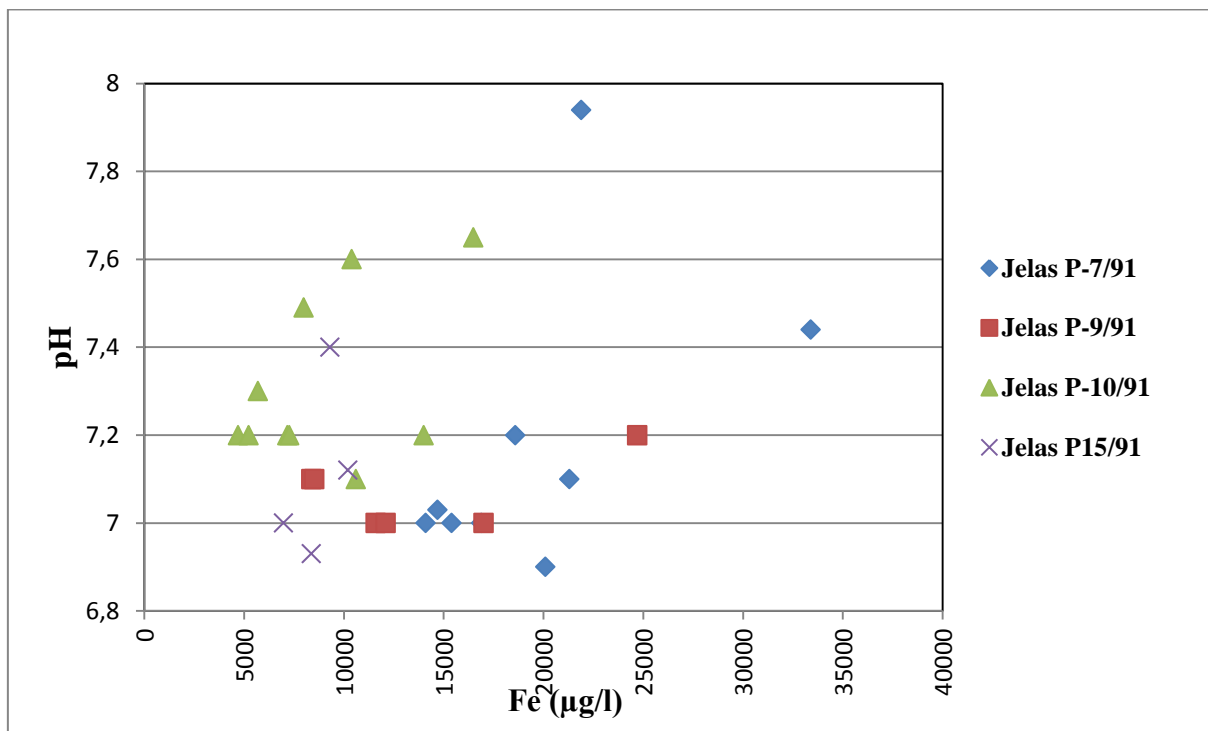
Slika 5-24. Odnos željeza i pH vrijednosti (Čvorkovac, Cerić, Tordinci)

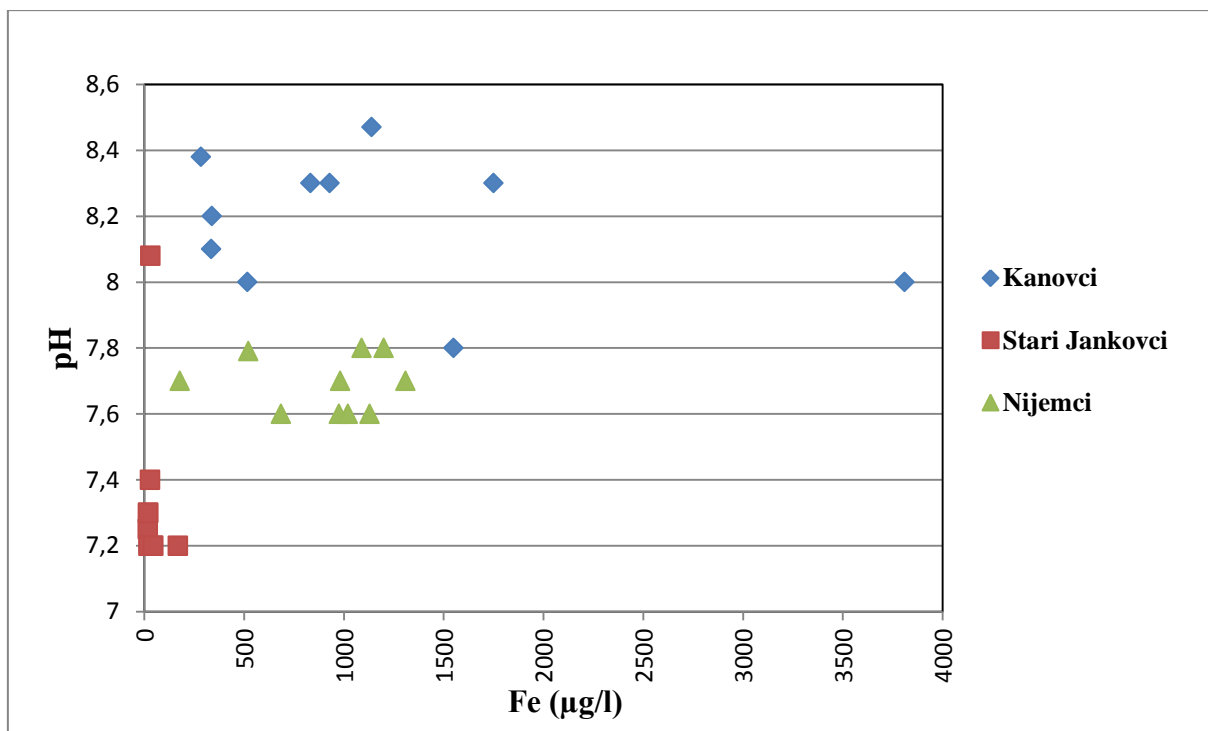


Slika 5-25. Odnos željeza i pH vrijednosti (Trslana V-5, Trslana V-27, Stari Mikanovci SMZ-1, Stari Mikanovci SMP-1, Donji Andrijevi)

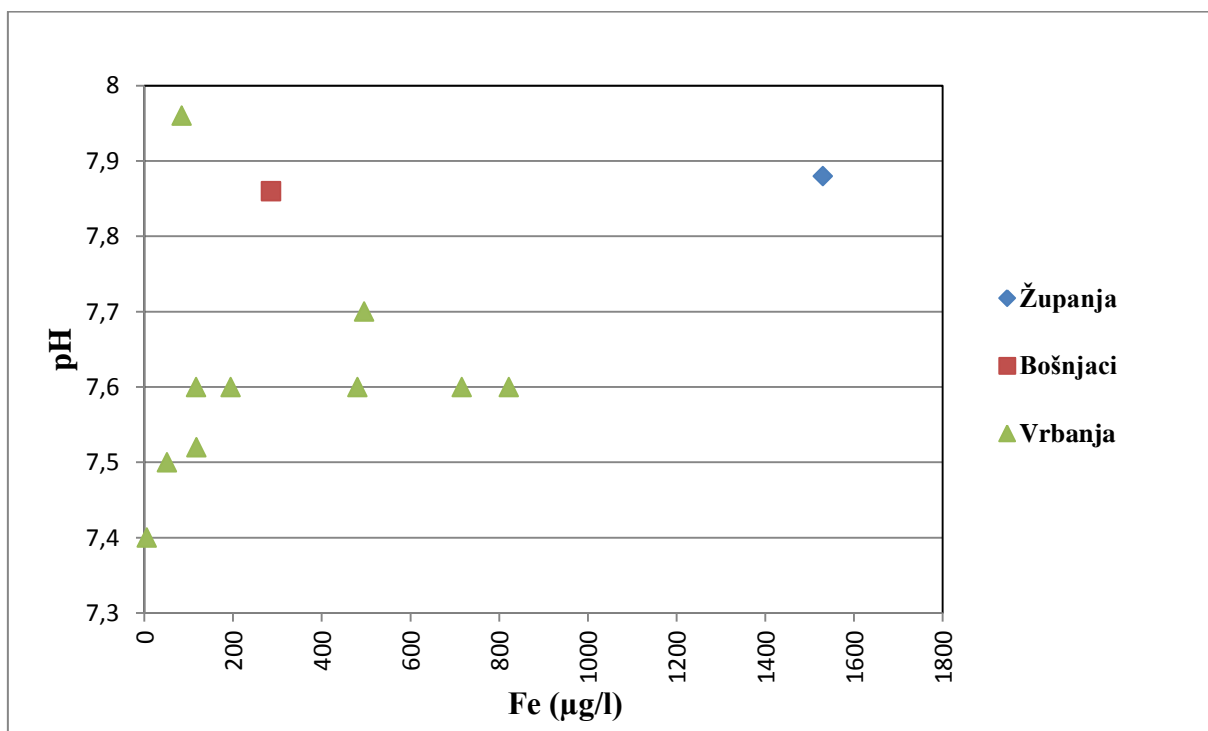


Slika 5-26. Odnos željeza i pH vrijednosti (Babina Greda, Gundinci Z-1, Gundinci SPB-3, Gundinci SPB-5)

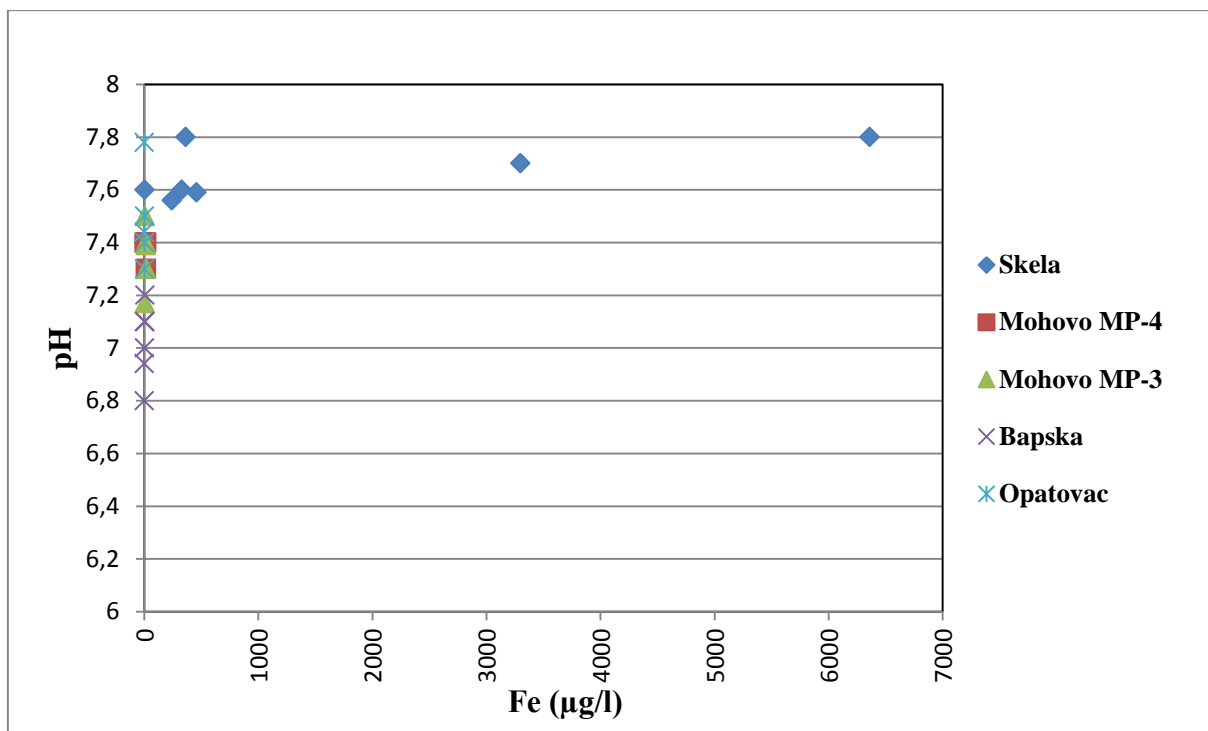




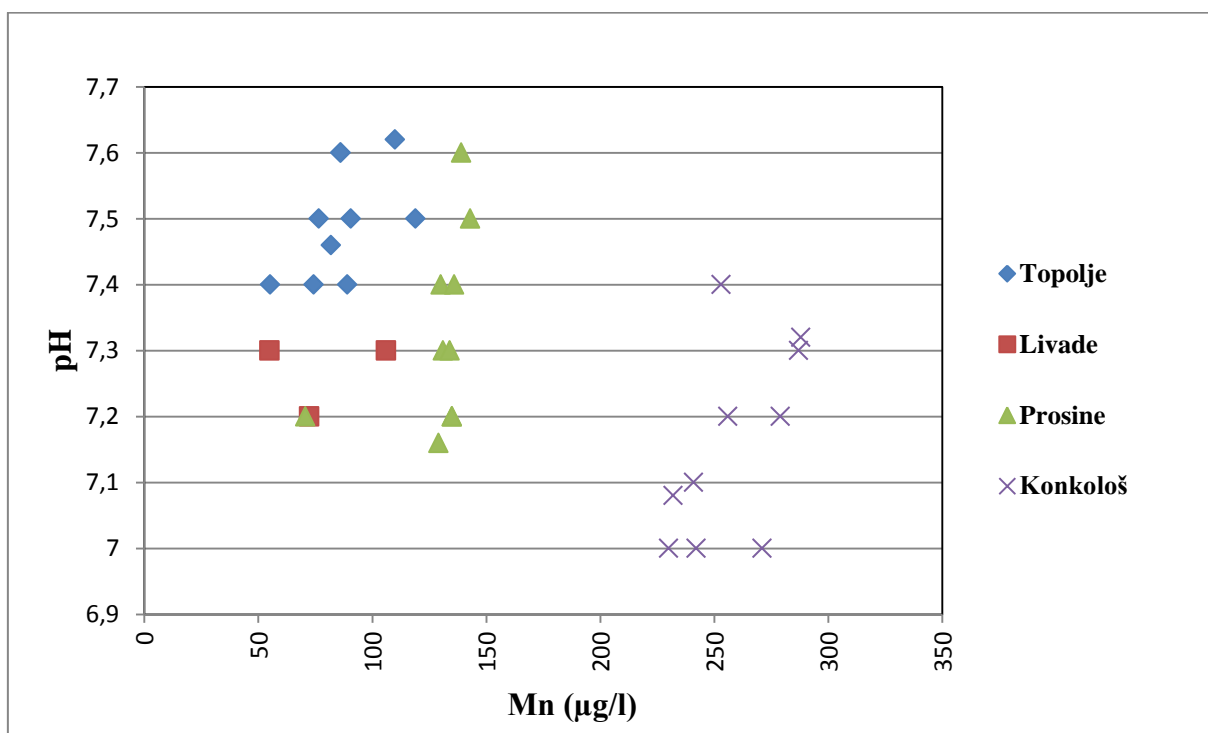
Slika 5-28. Odnos željeza i pH vrijednosti (Kanovci, Stari Jankovci, Nijemci)



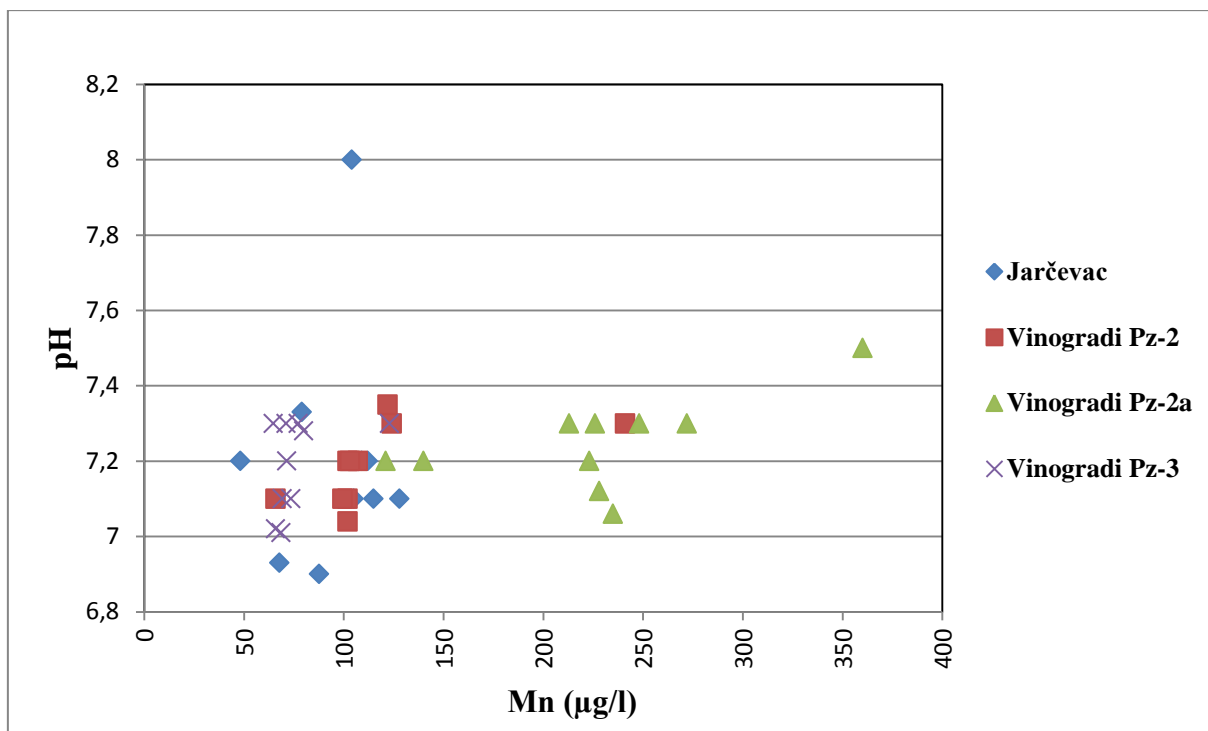
Slika 5-29. Odnos željeza i pH vrijednosti (Županja, Bošnjaci, Vrbanja)



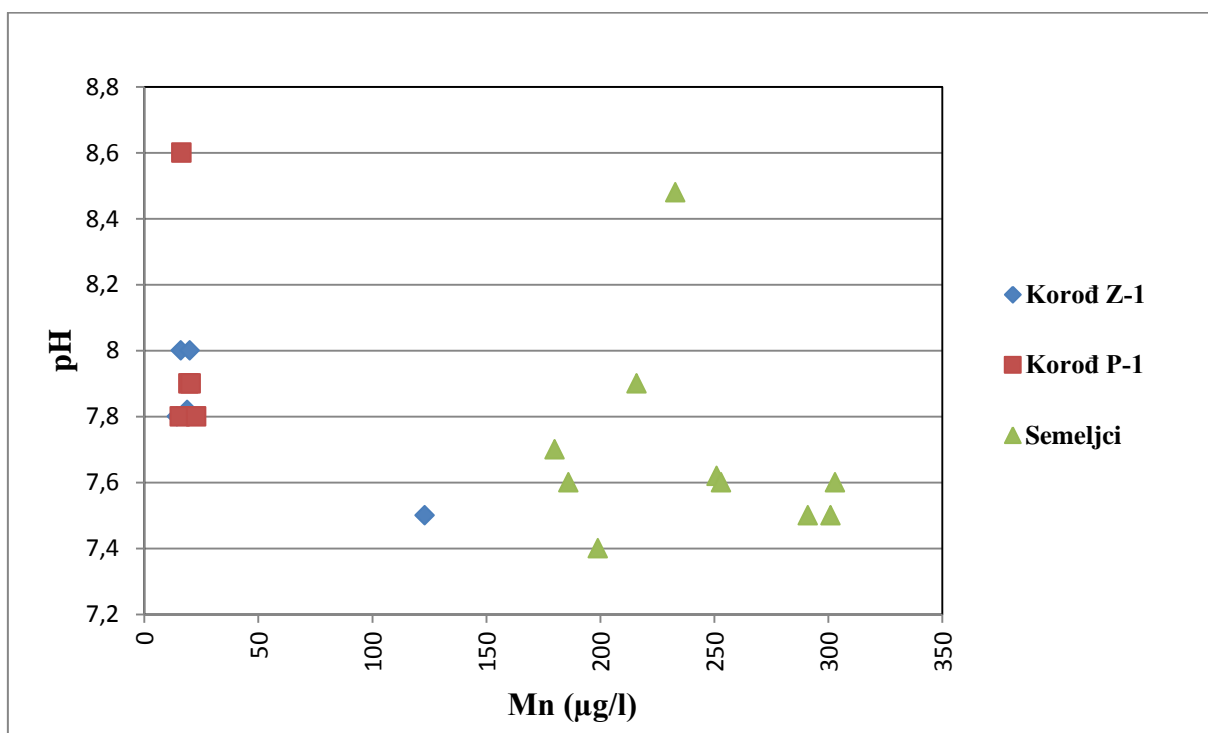
Slika 5-30. Odnos željeza i pH vrijednosti (Skela, Mohovo MP-4, Mohovo MP-3, Bapska, Opatovac)



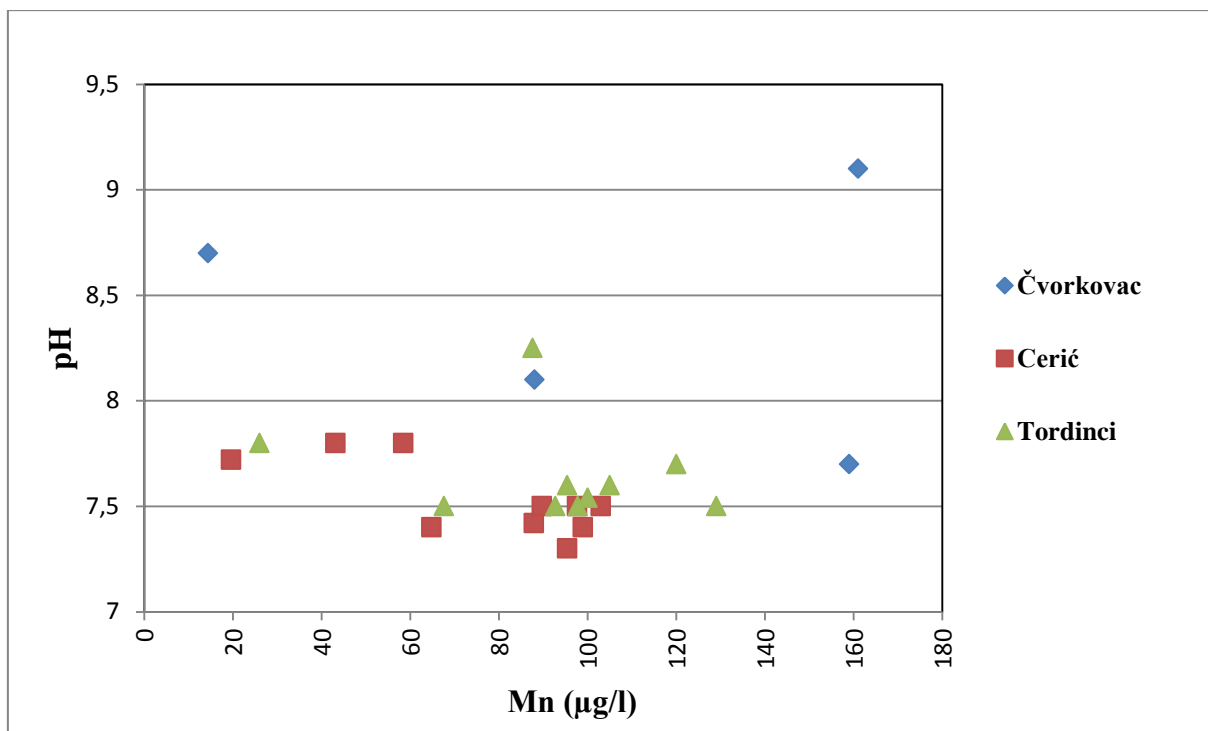
Slika 5-31. Odnos mangana i pH vrijednosti (Topolje, Livade, Prosine, Konkološ)



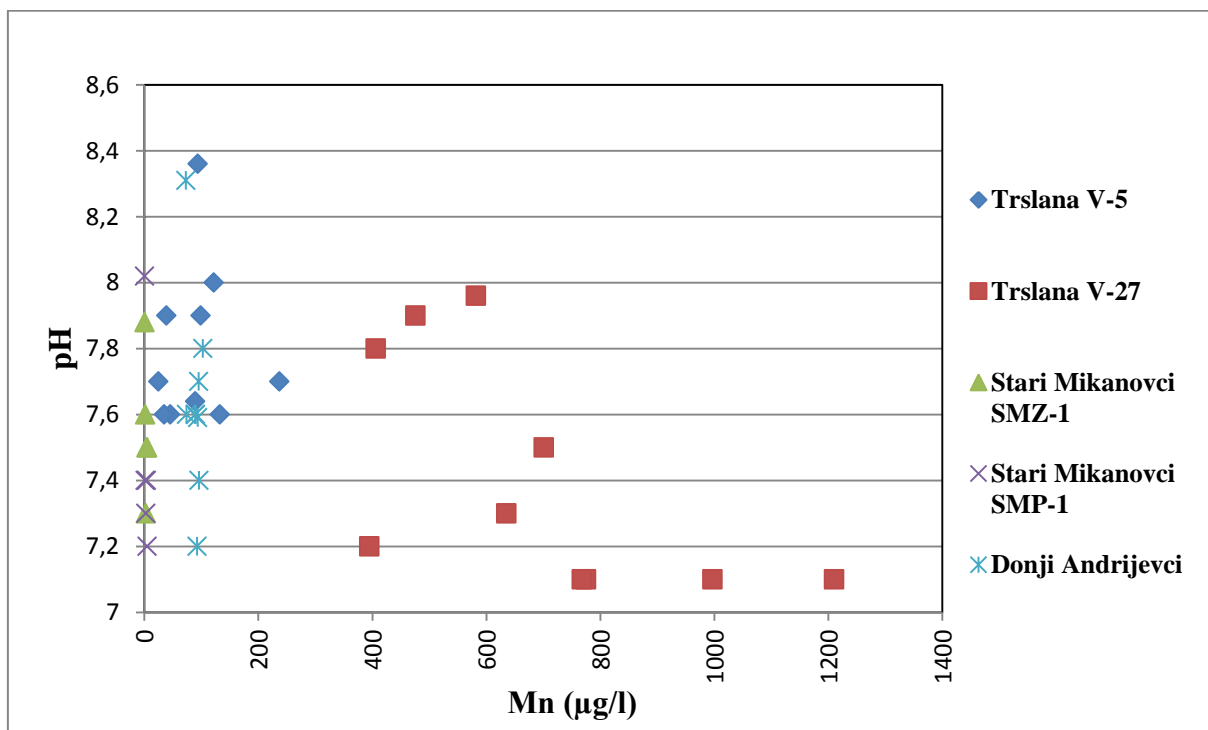
Slika 5-32. Odnos mangana i pH vrijednosti (Jarčevac, Vinogradi Pz-2, Vinogradi Pz-2a, Vinogradi Pz-3)



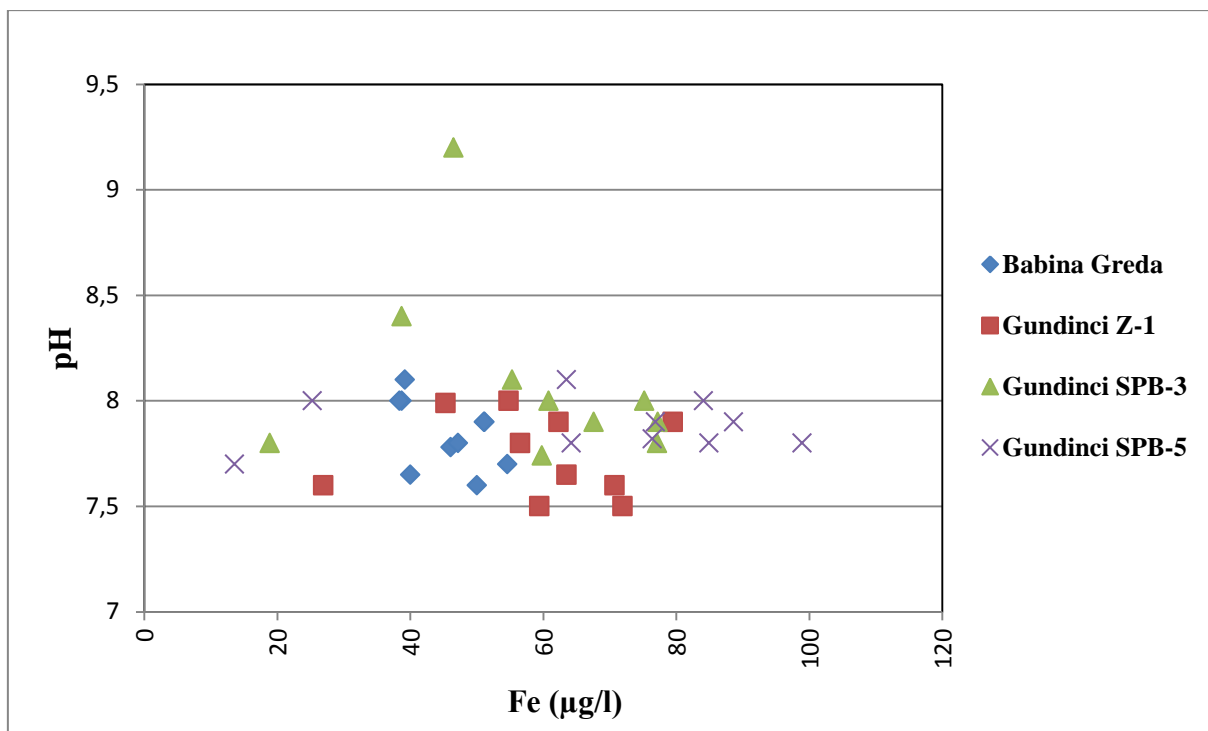
Slika 5-33. Odnos mangana i pH vrijednosti (Korod Z-1, Korod P-1, Semeljci)



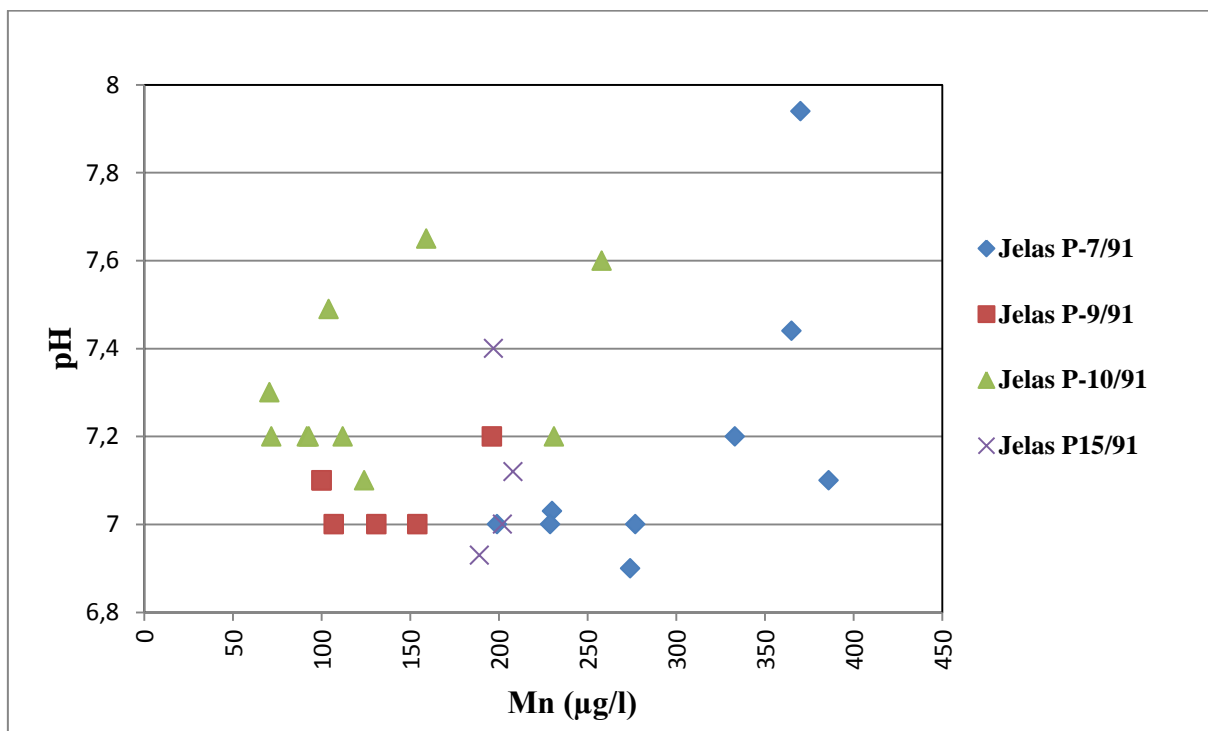
Slika 5-34. Odnos mangana i pH vrijednosti (Čvorkovac, Cerić, Tordinci)



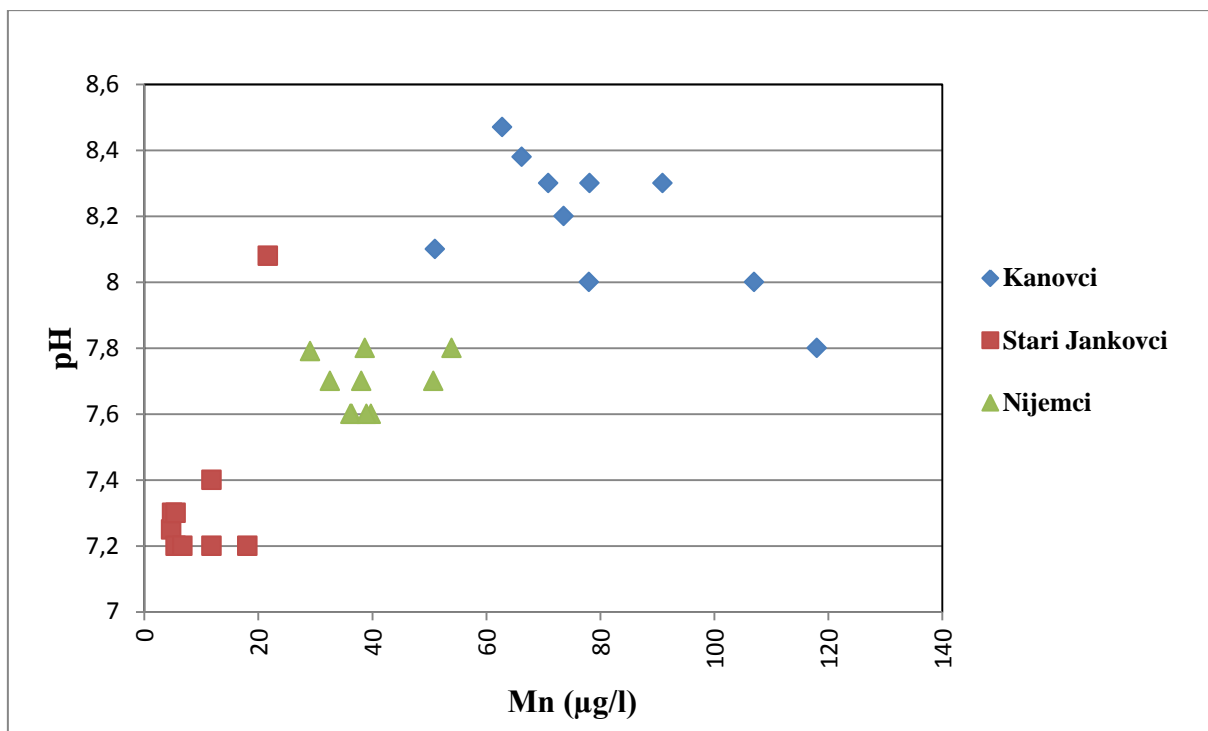
Slika 5-35. Odnos mangana i pH vrijednosti (Trslana V-5, Trslana V-27, Stari Mikanovci SMZ-1, Stari Mikanovci SMP-1, Donji Andrijevi)



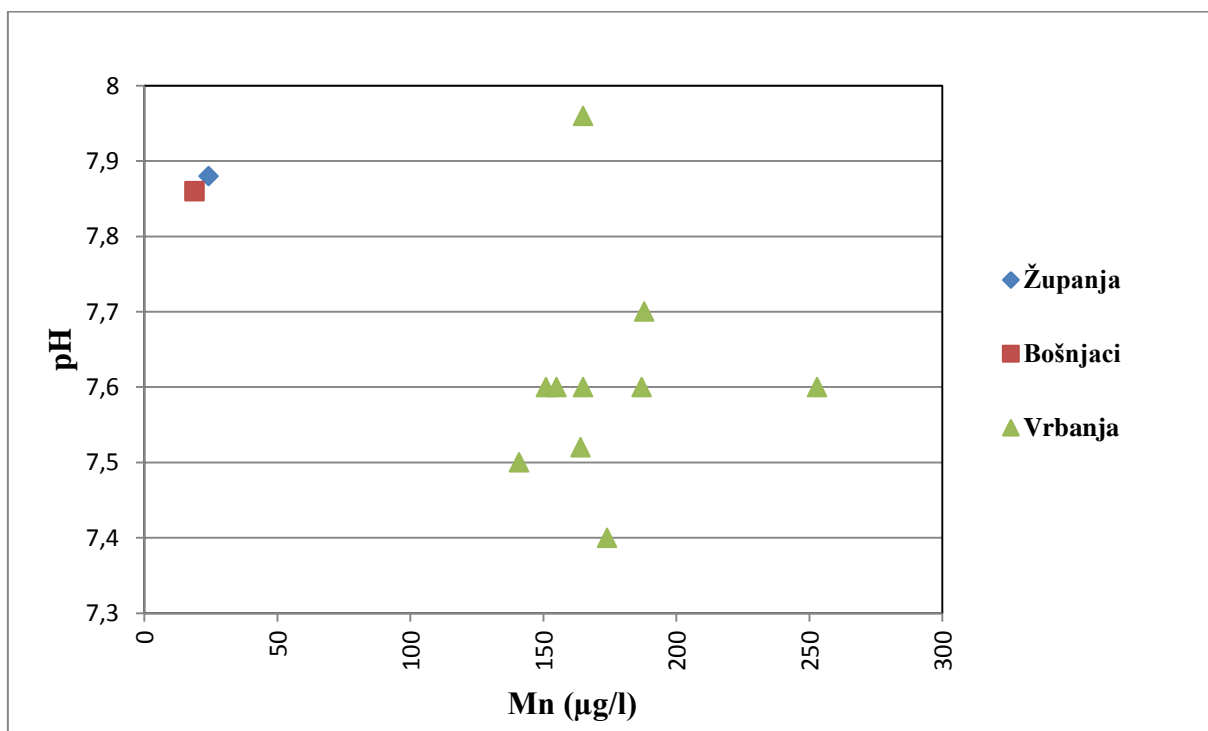
Slika 5-36. Odnos mangana i pH vrijednosti (Babina Greda, Gundinci Z-1, Gundinci SPB-3, Gundinci SPB-5)



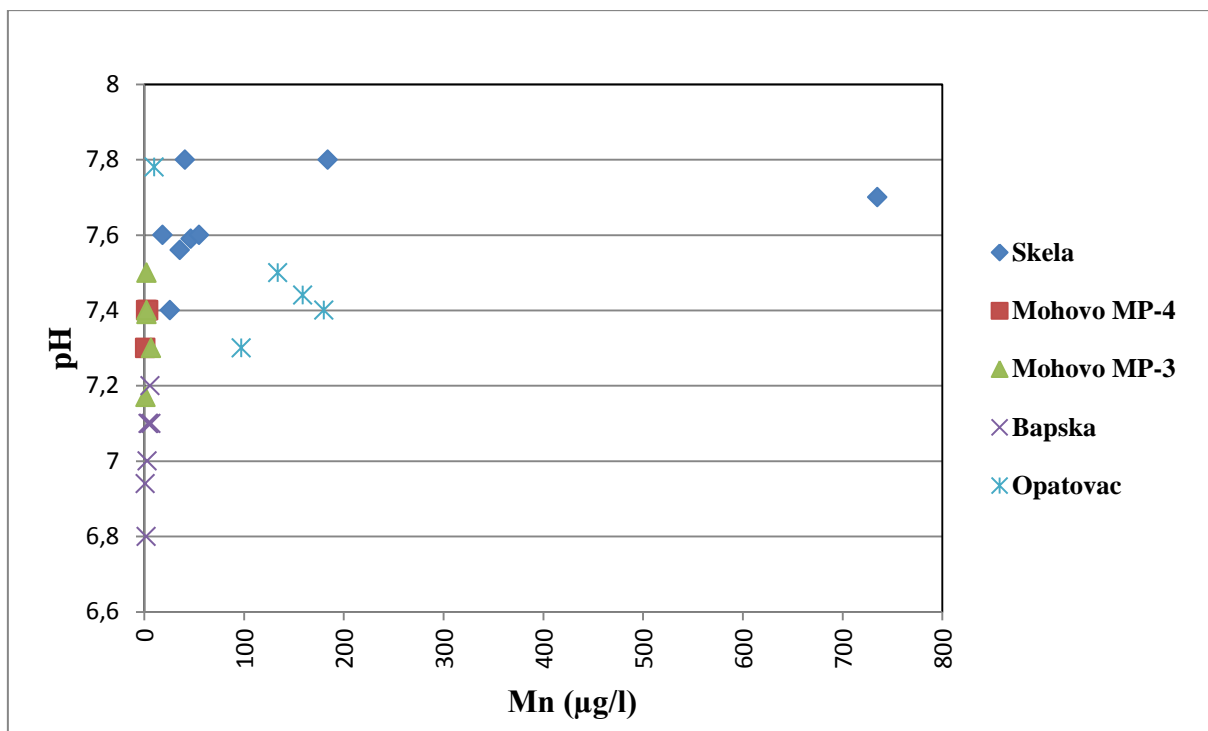
Slika 5-37. Odnos mangana i pH vrijednosti (Jelas P-7/91, Jelas P-9/91, Jelas P-10/91, Jelas P15/91)



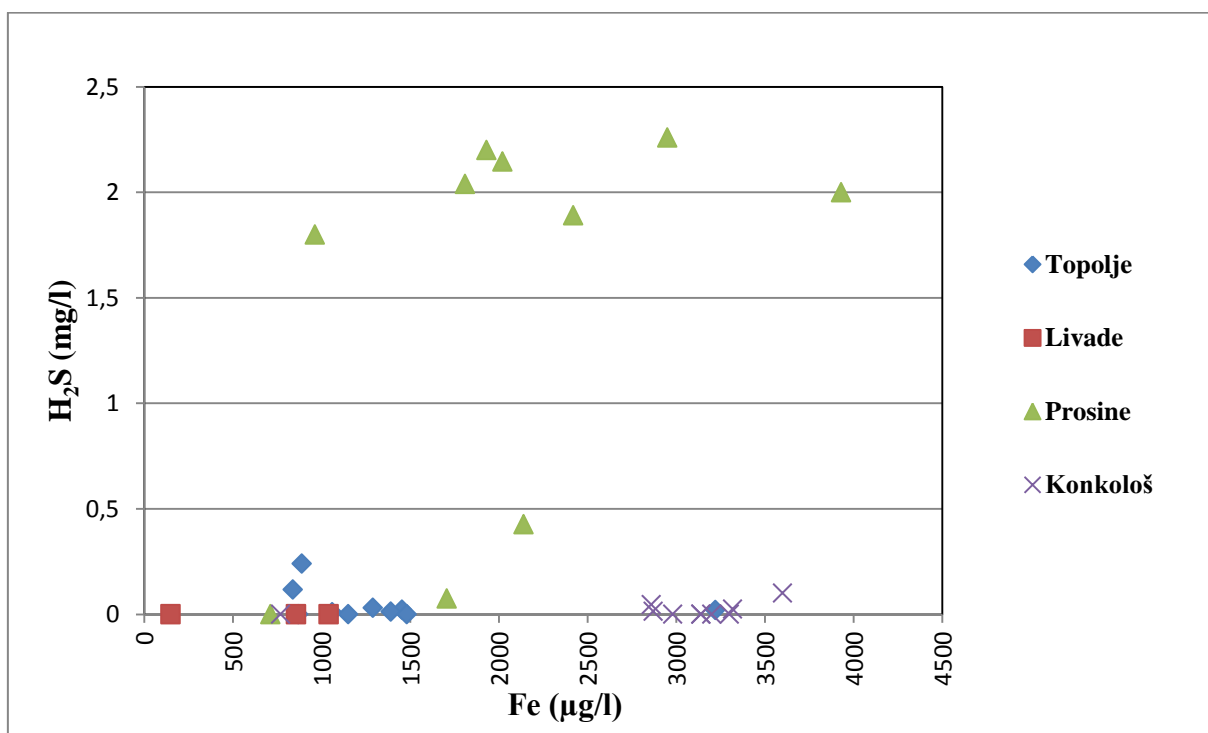
Slika 5-38. Odnos mangana i pH vrijednosti (Kanovci, Stari Jankovci, Nijemci)



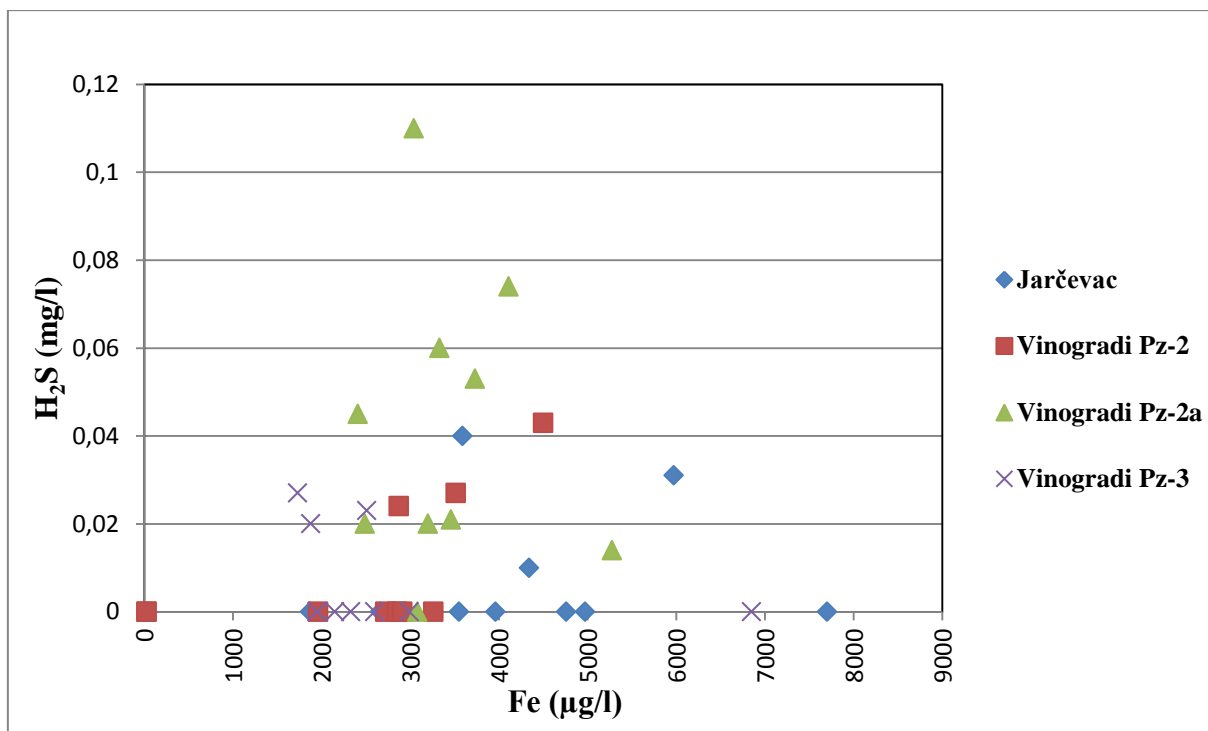
Slika 5-39. Odnos mangana i pH vrijednosti (Županja, Bošnjaci, Vrbanja)



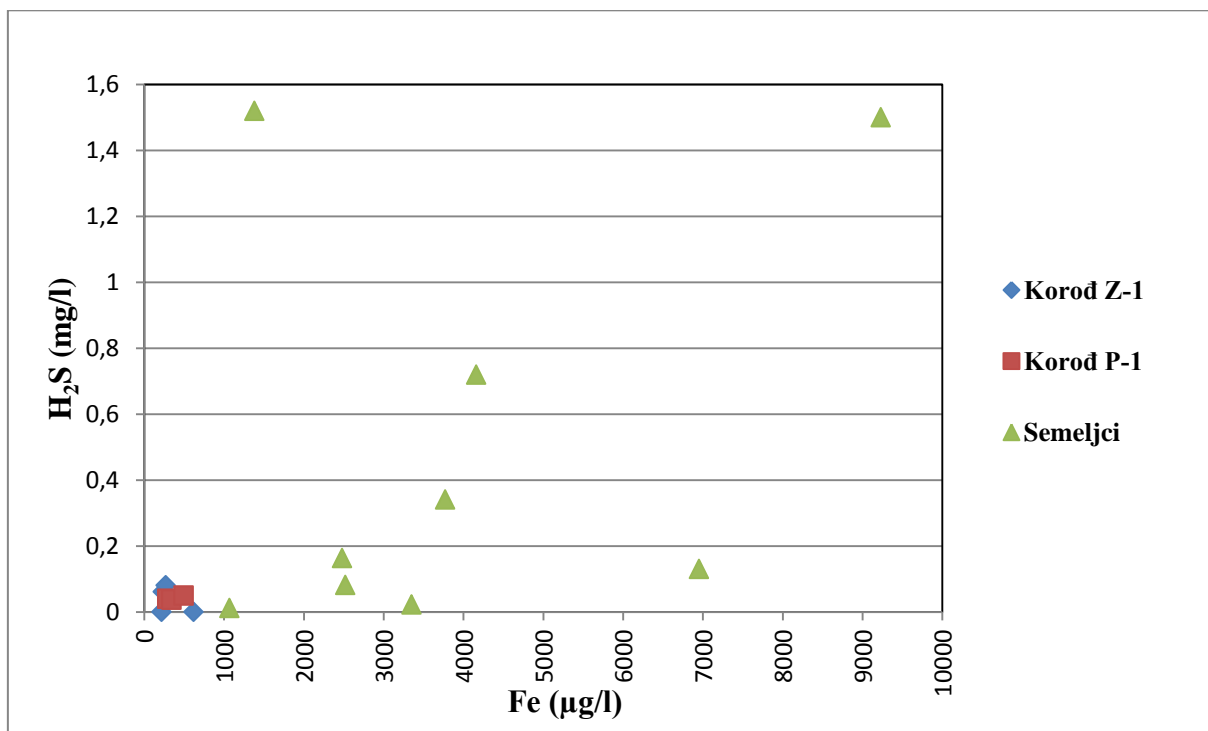
Slika 5-40. Odnos mangana i pH vrijednosti (Skela, Mohovo MP-4, Mohovo MP-3, Bapska, Opatovac)



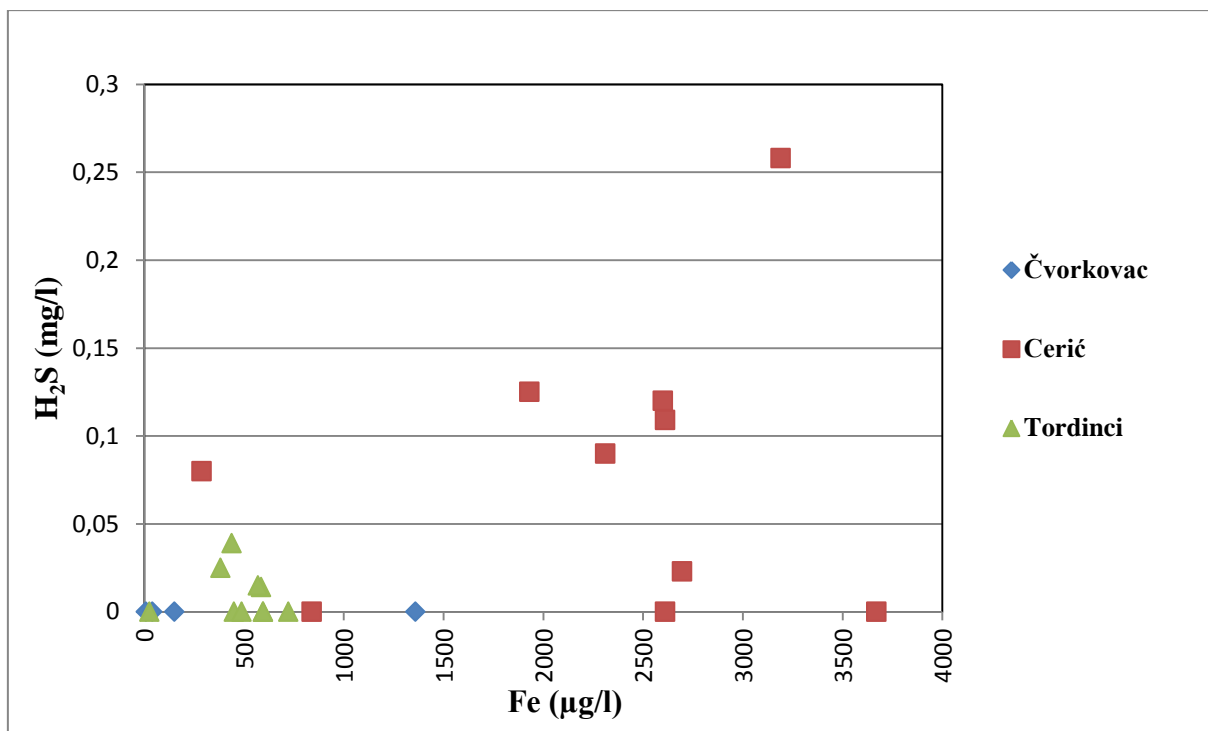
Slika 5-41. Odnos željeza i sumporovodika (Topolje, livade, Prosine, Konkološ)



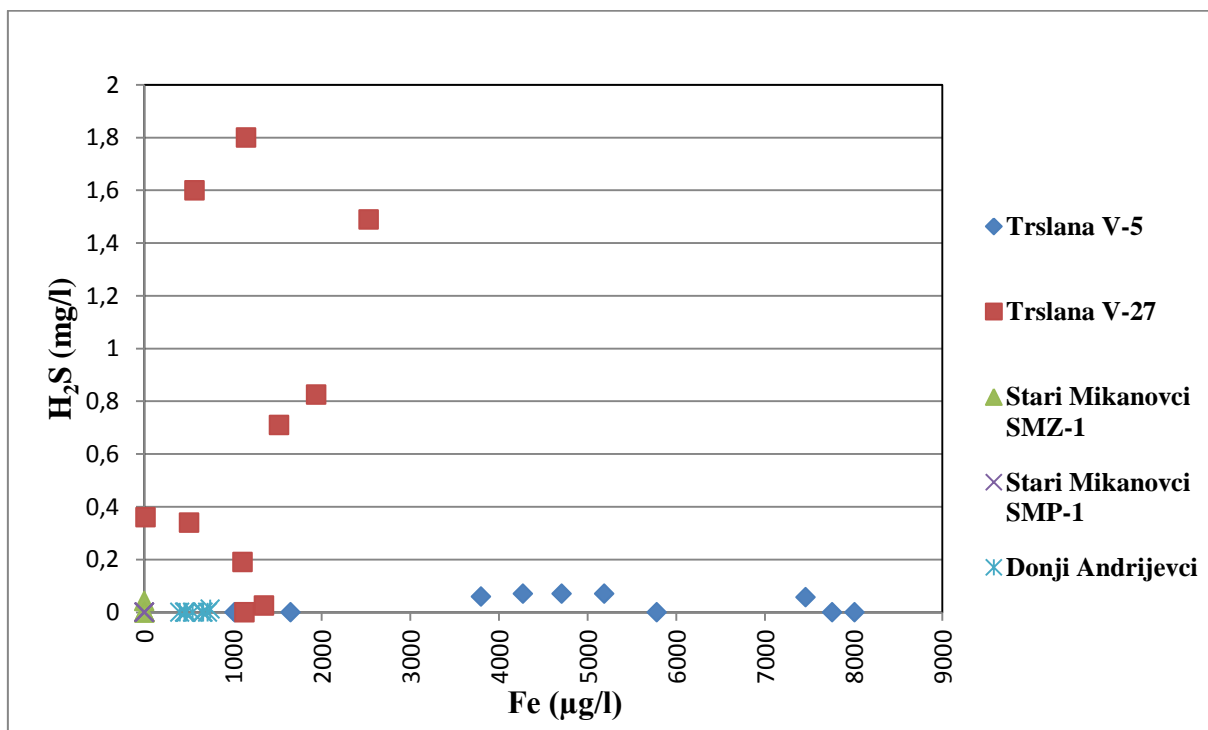
Slika 5-42. Odnos željeza i sumporovodika (Jarčevac, Vinogradi Pz-2, Vinogradi Pz-2a, Vinogradi Pz-3)



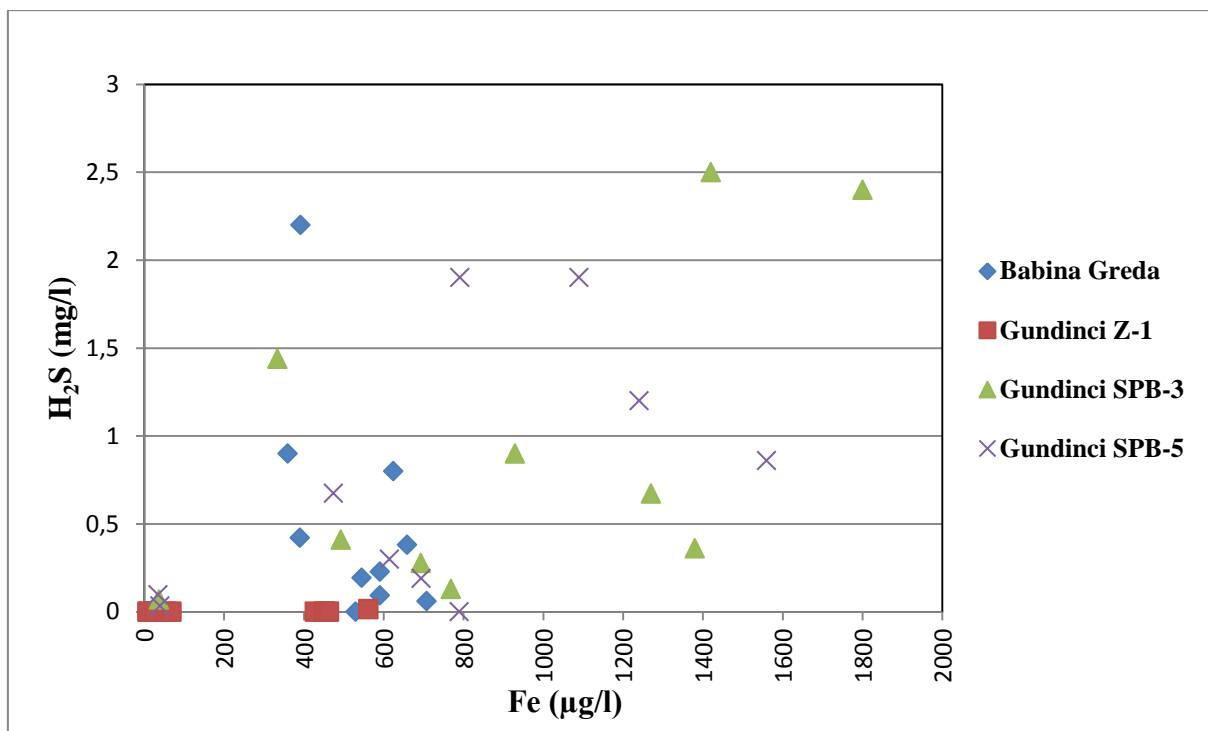
Slika 5-43. Odnos željeza i sumporovodika (Korođ Z-1, Korođ P-1, Semeljci)



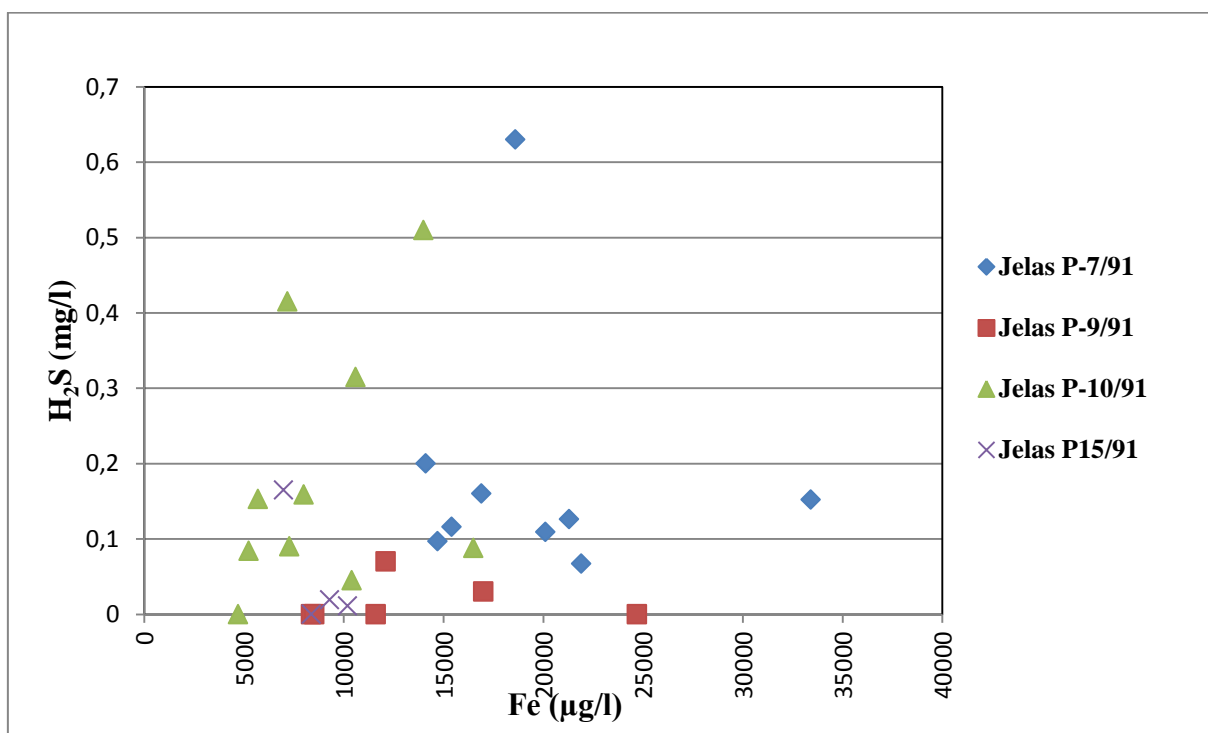
Slika 5-44. Odnos željeza i sumporovodika (Čvorkovac, Cerić, Tordinci)



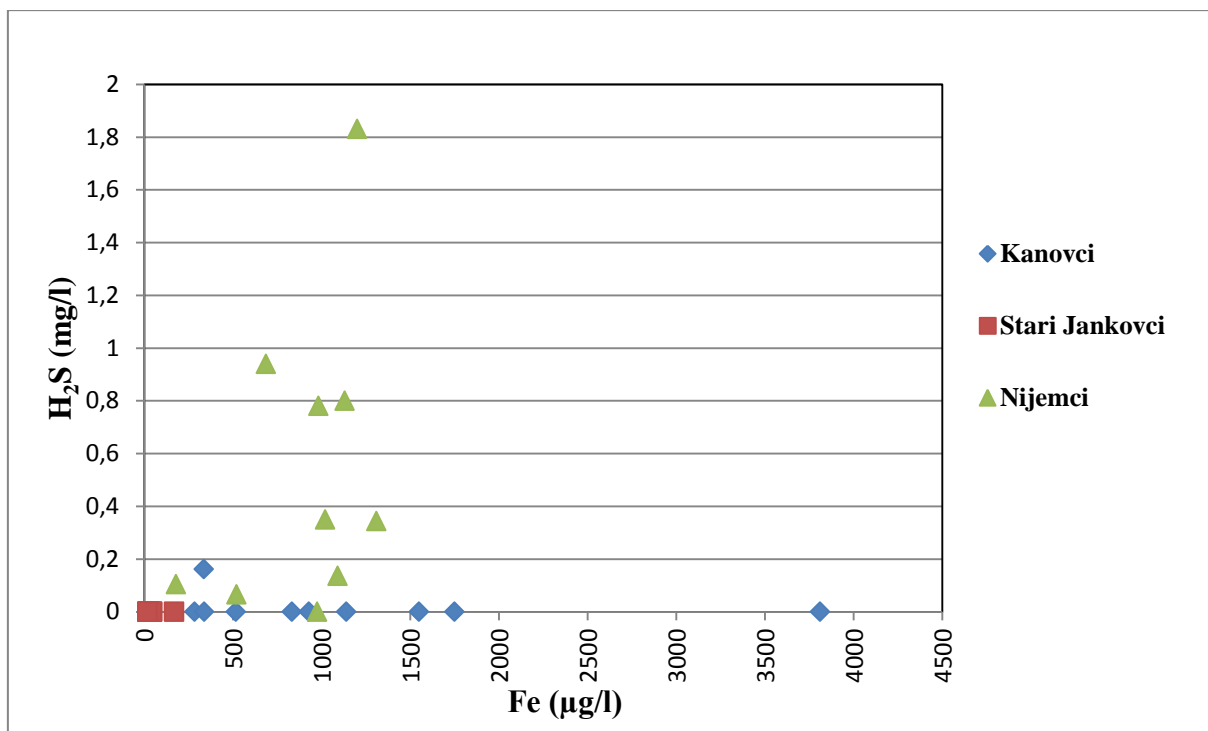
Slika 5-45. Odnos željeza i sumporovodika (Trslana V-5, Trslana V-27, Stari Mikanovci SMZ-1, Stari Mikanovci SMP-1, Donji Andrijevi)



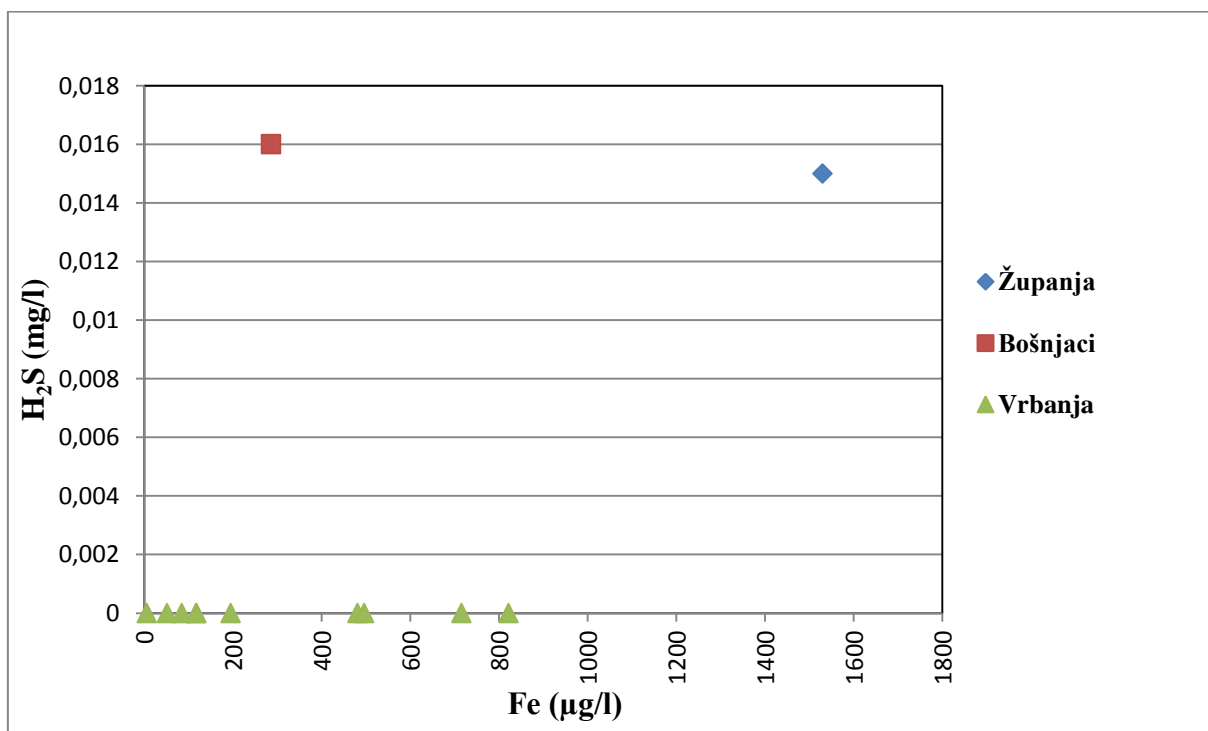
Slika 5-46. Odnos željeza i sumporovodika (Babina Greda, Gundinci Z-1, Gundinci SPB-3, Gundinci SPB-5)



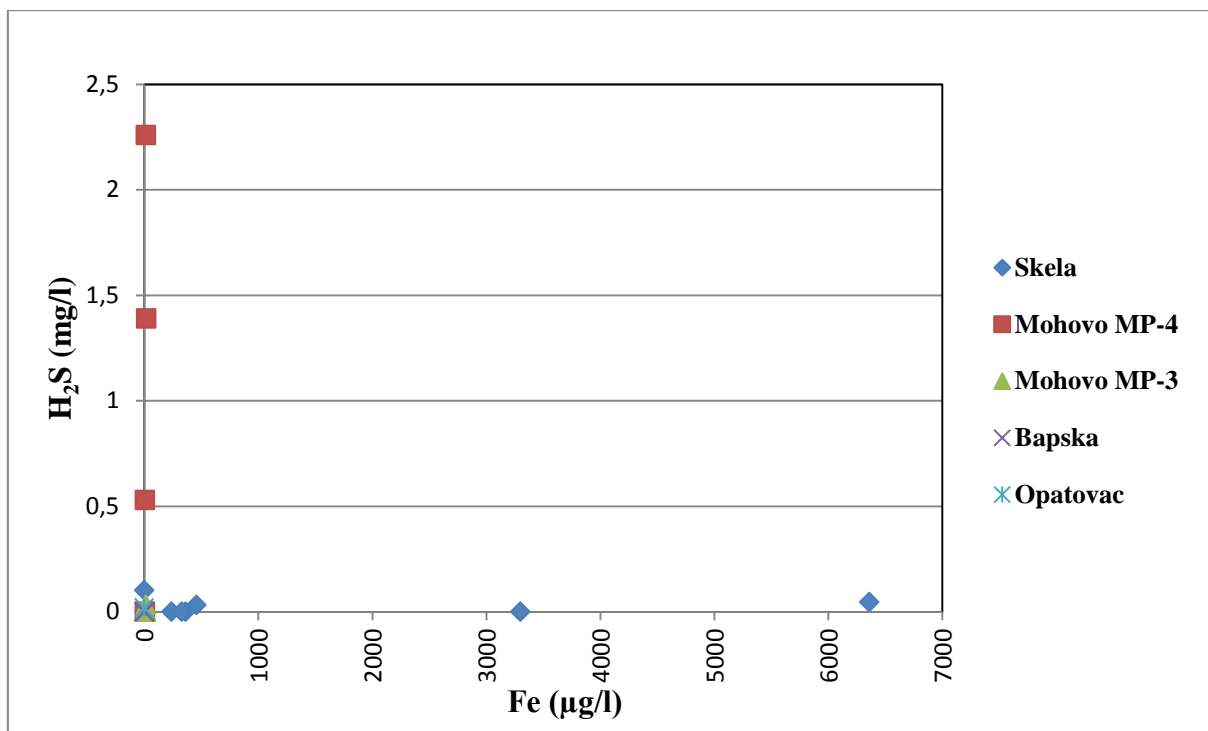
Slika 5-47. Odnos željeza i sumporovodika (Jelas P-7/91, Jelas P-9/91, Jelas P-10/91, Jelas P15/91)



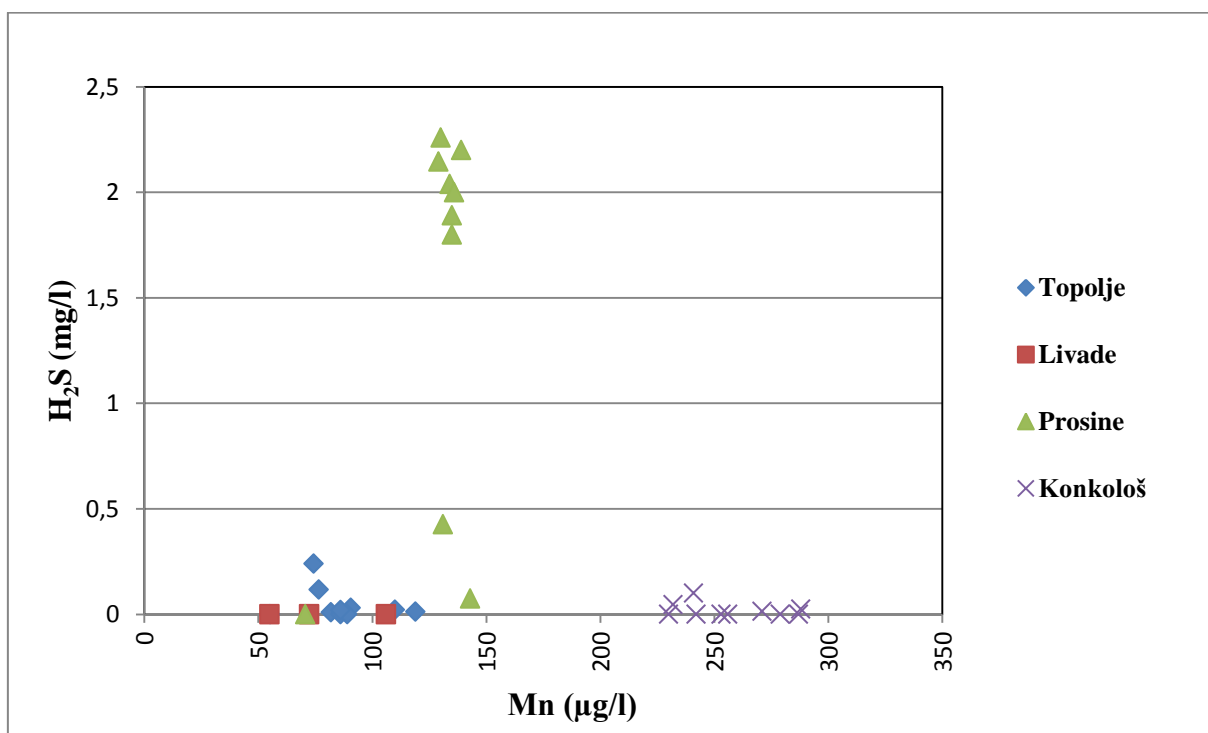
Slika 5-48. Odnos željeza i sumporovodika (Kanovci, Stari Jankovci, Nijemci)



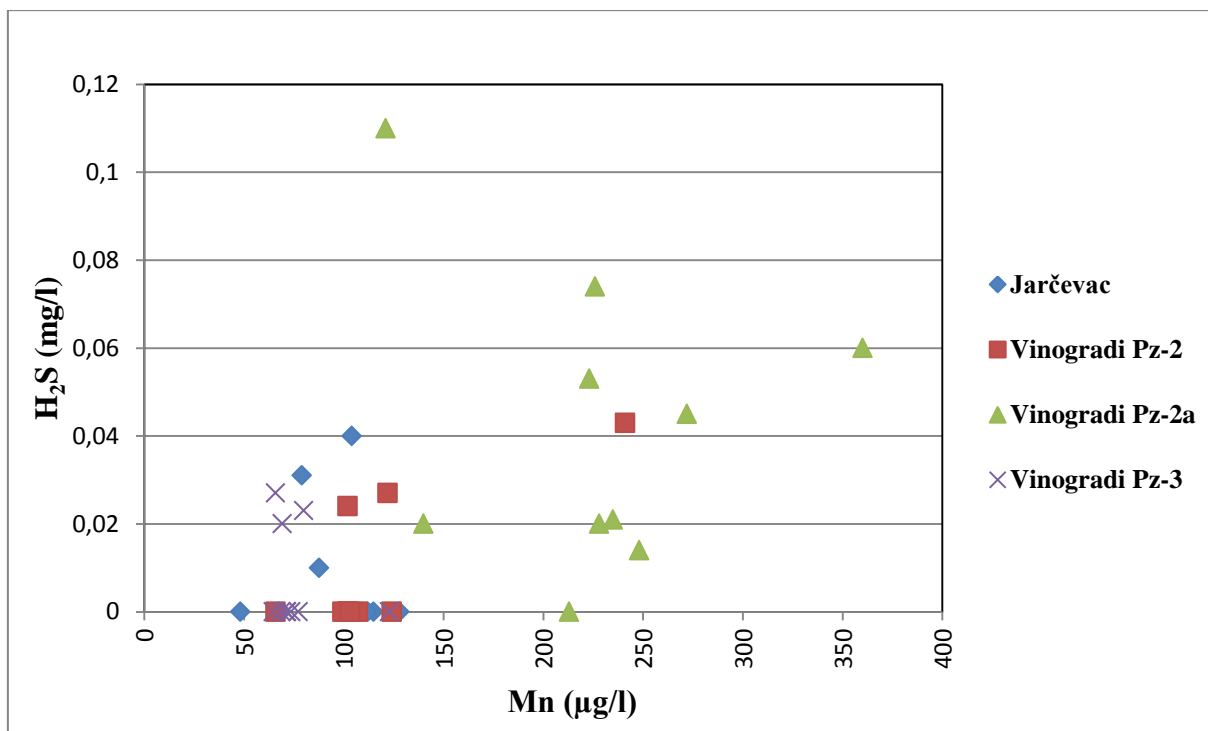
Slika 5-49. Odnos željeza i sumporovodika (Županja, Bošnjaci, Vrbanja)



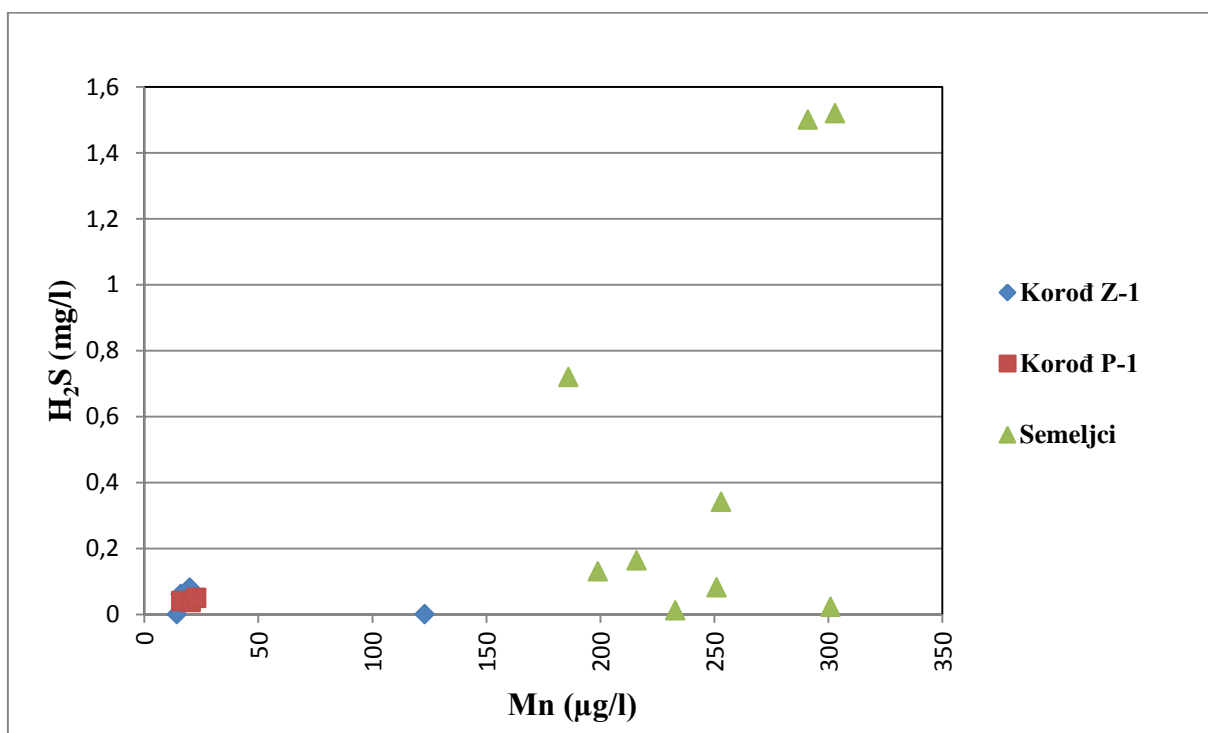
Slika 5-50. Odnos željeza i sumporovodika (Skela, Mohovo MP-4, Mohovo MP-3, Bapska, Opatovac)



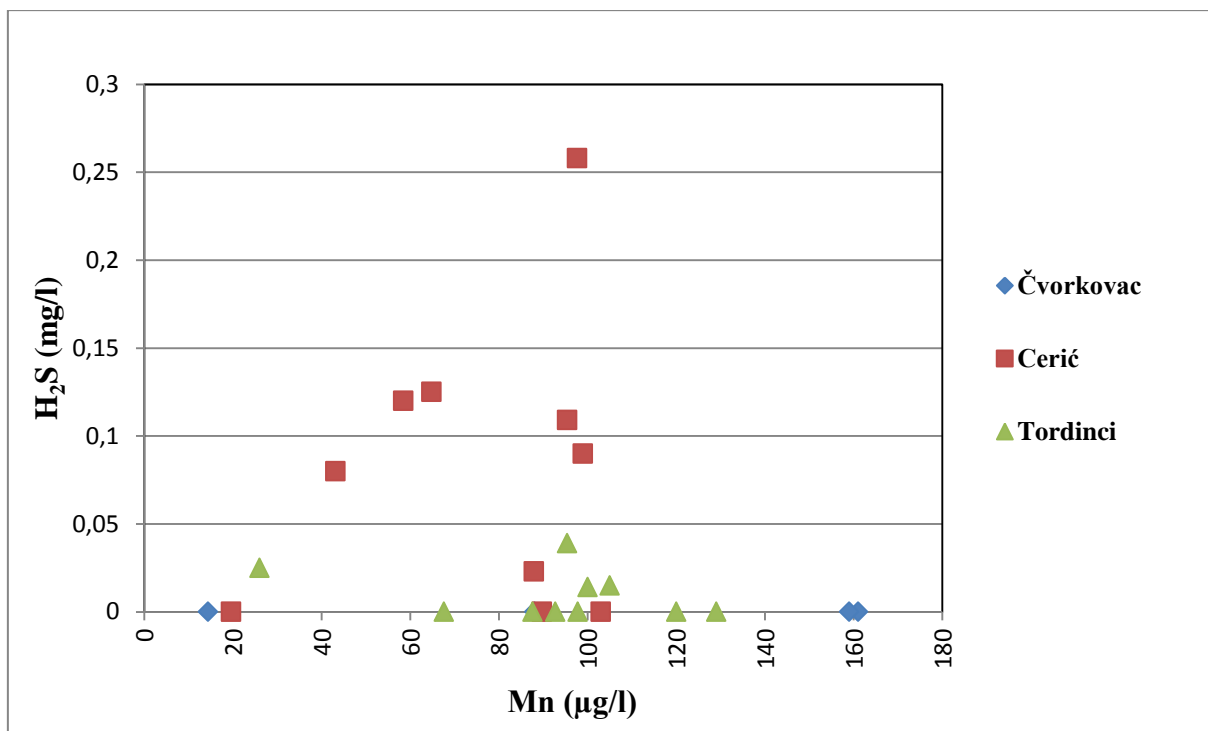
Slika 5-51. Odnos mangana i sumporovodika (Topolje, Livade, Prosine, Konkološ)



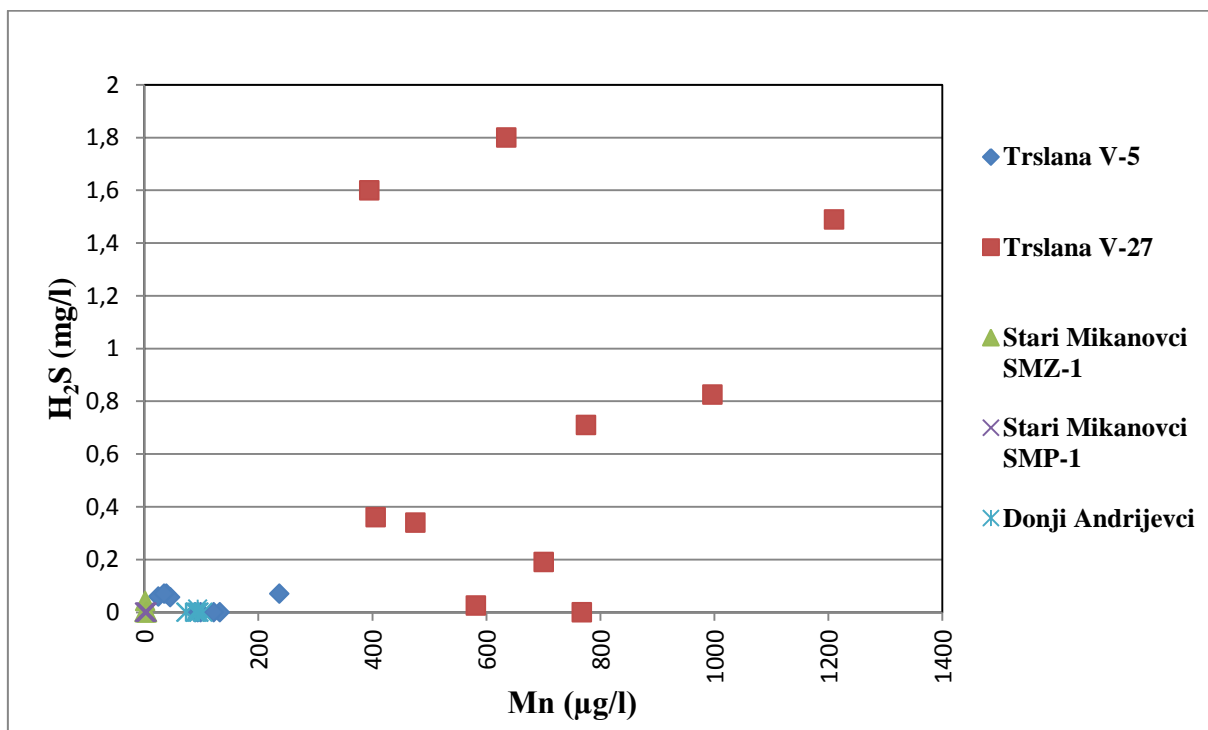
Slika 5-52. Odnos mangana i sumporovodika (Jarčevac, Vinogradi Pz-2, Vinogradi Pz-2a, Vinogradi Pz-3)



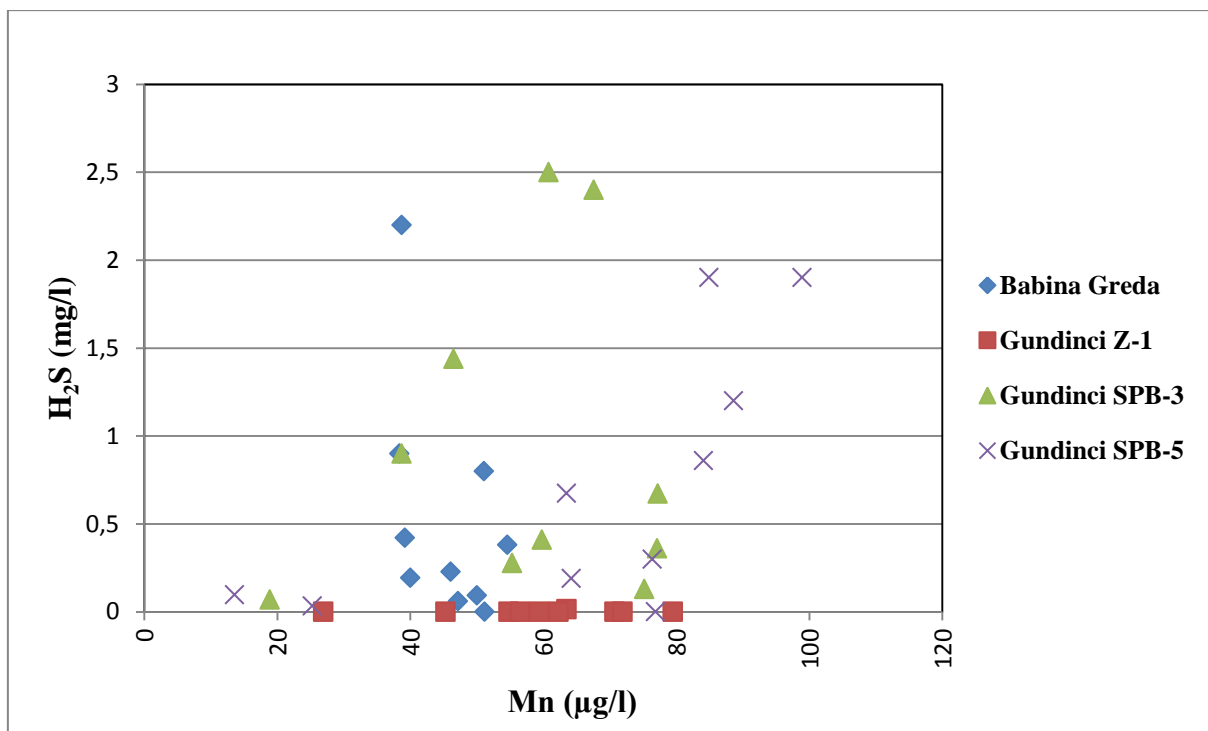
Slika 5-53. Odnos mangana i sumporovodika (Korod Z-1, Korod P-1, Semeljci)



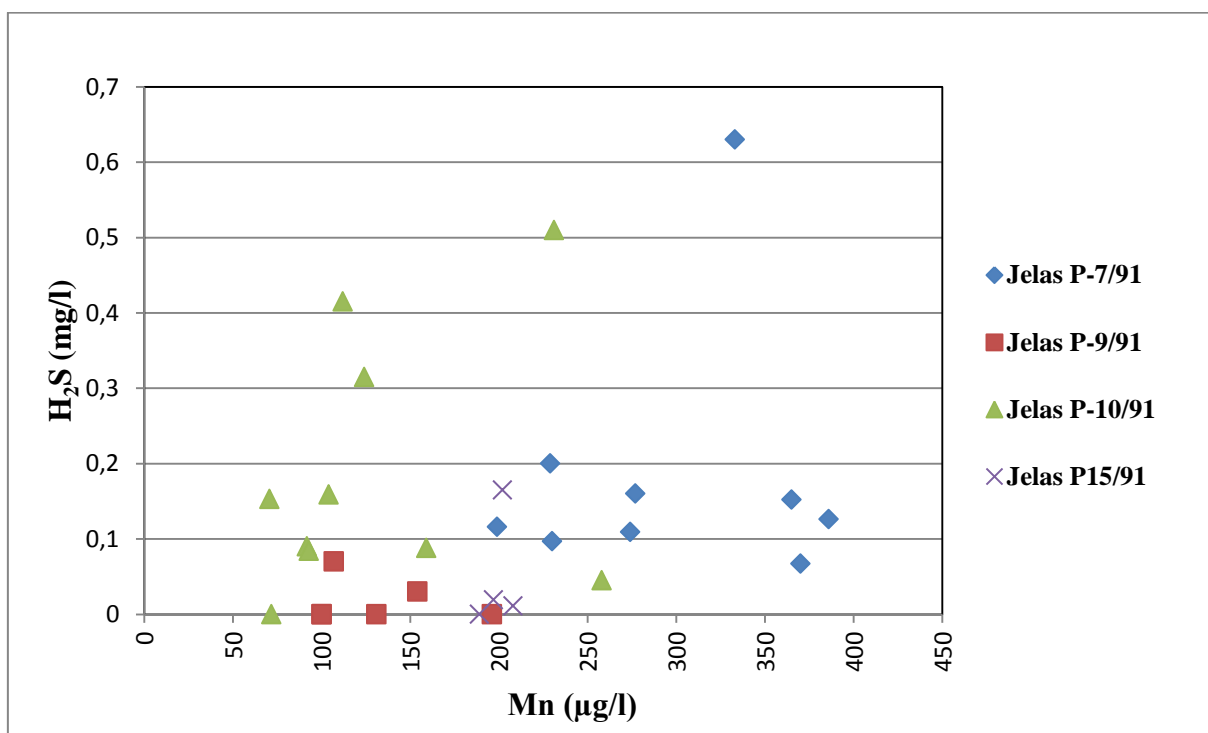
Slika 5-54. Odnos mangana i sumporovodika (Čvorkovac, Cerić, Tordinci)



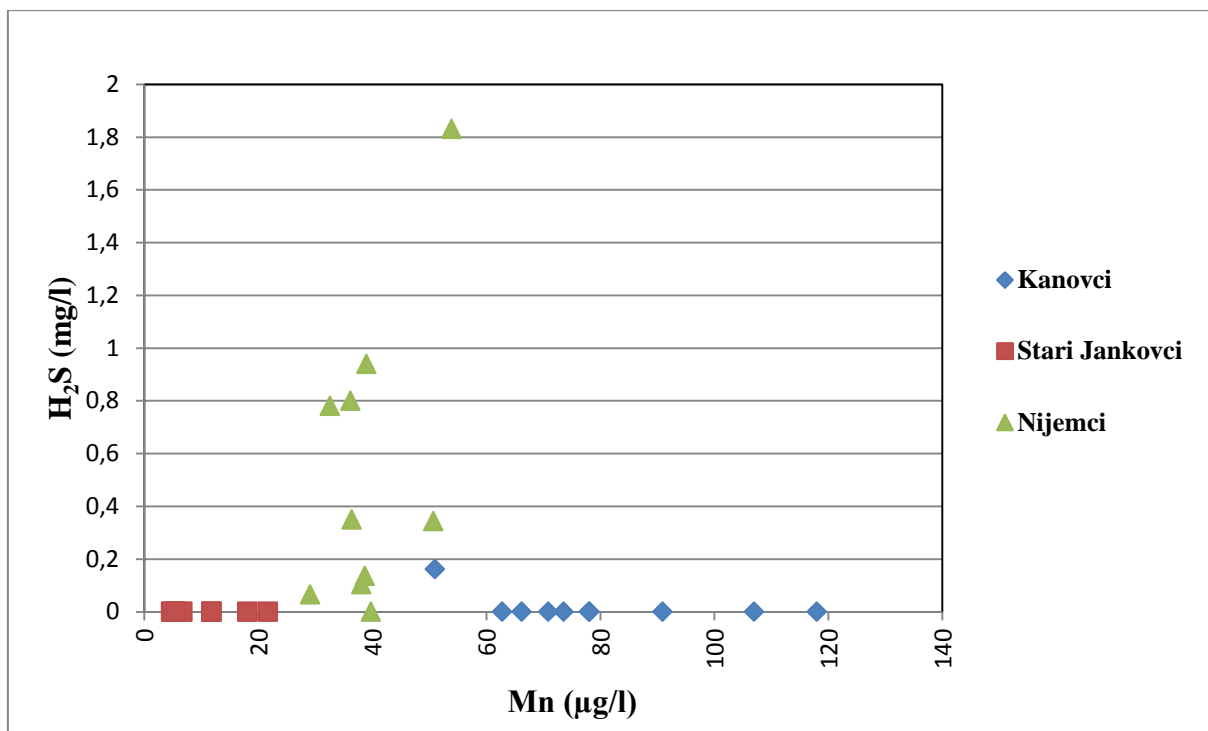
Slika 5-55. Odnos mangana i sumporovodika (Trslana V-5, Trslana V-27, Stari Mikanovci SMZ-1, Stari Mikanovci SMP-1, Donji Andrijeveci)



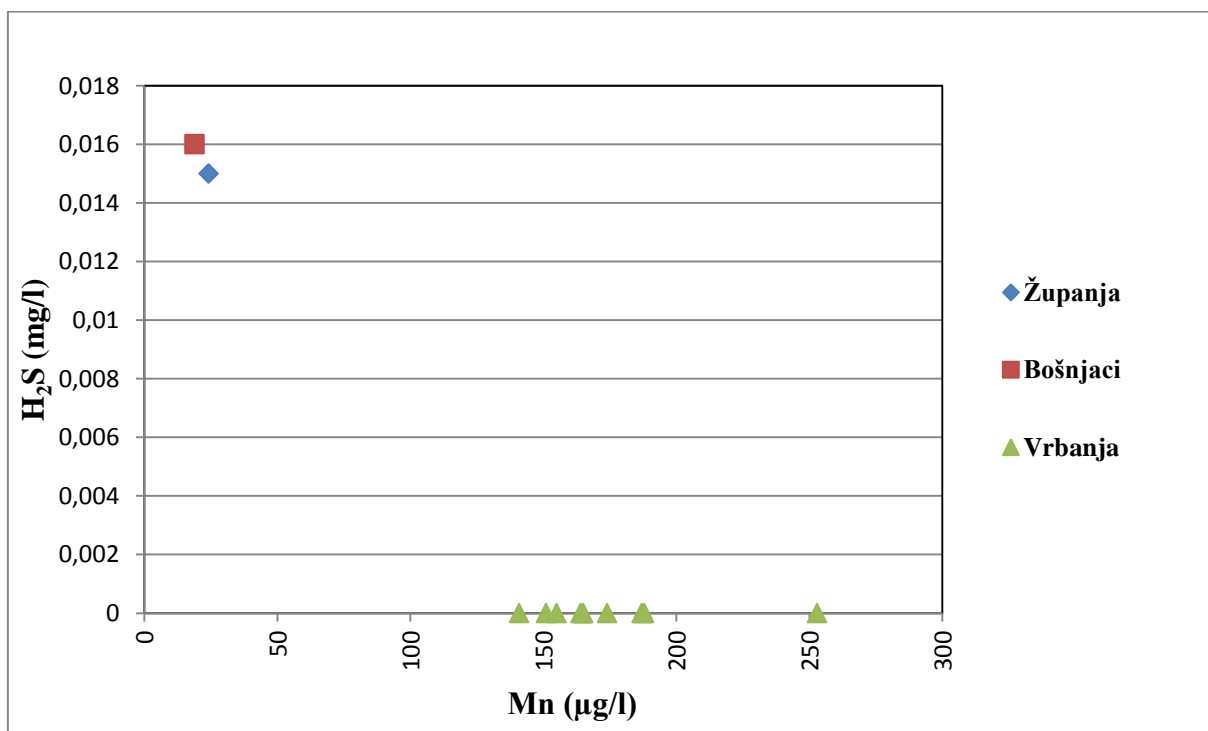
Slika 5-56. Odnos mangana i sumporovodika (Babina Greda, Gundinci Z-1, Gundinci SPB-3, Gundinci SPB-5)



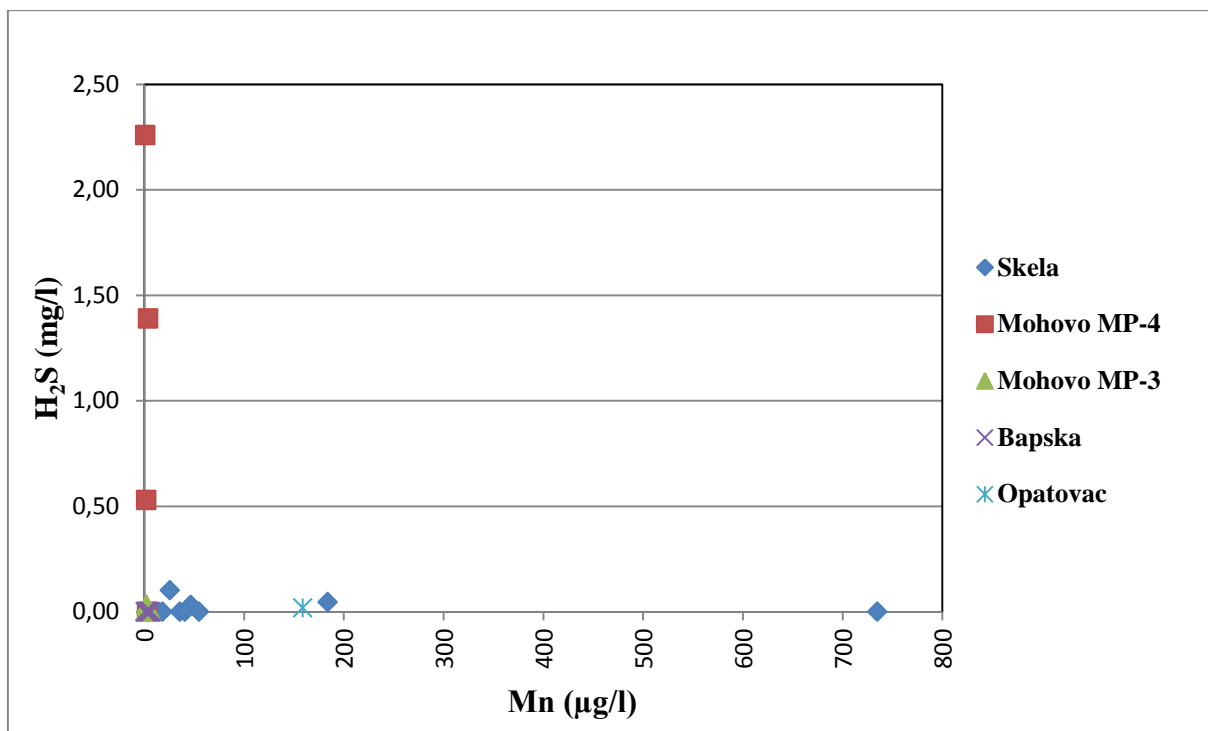
Slika 5-57. Odnos mangana i sumporovodika (Jelas P-7/91, Jelas P-9/91, Jelas P-10/91, Jelas P15/91)



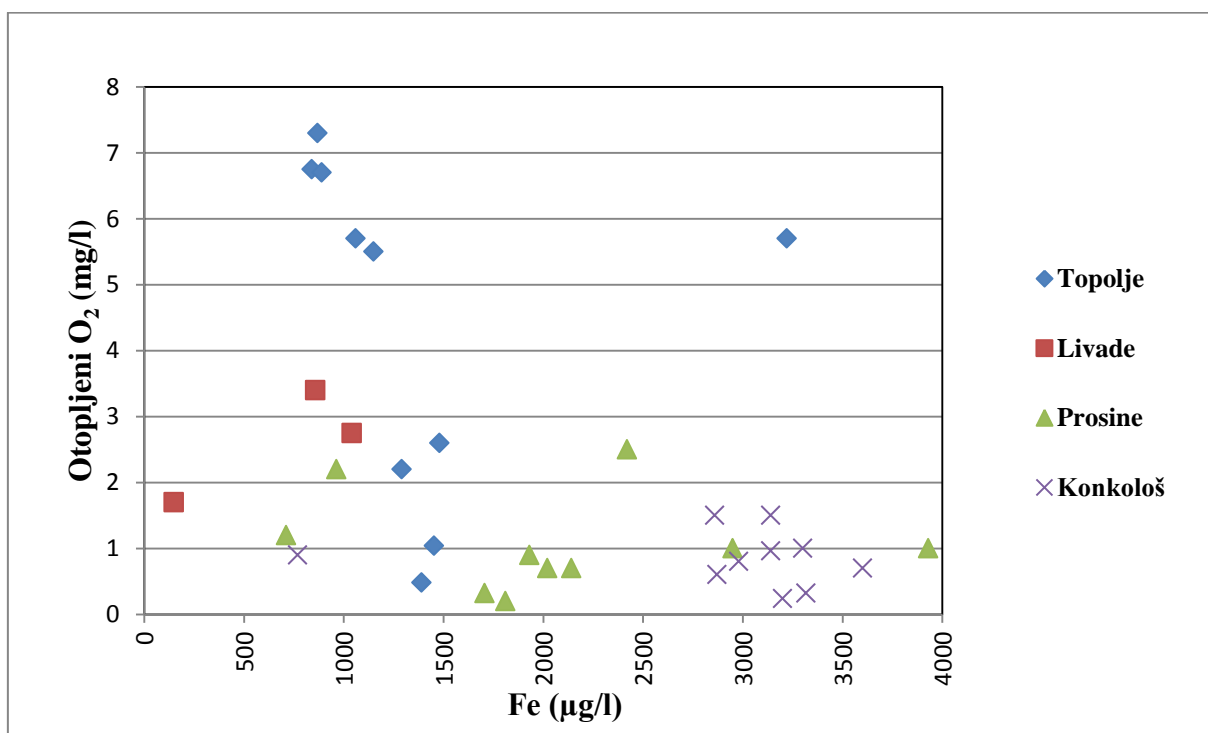
Slika 5-58. Odnos mangana i sumporovodika (Kanovci, Stari Jankovci, Nijemci)



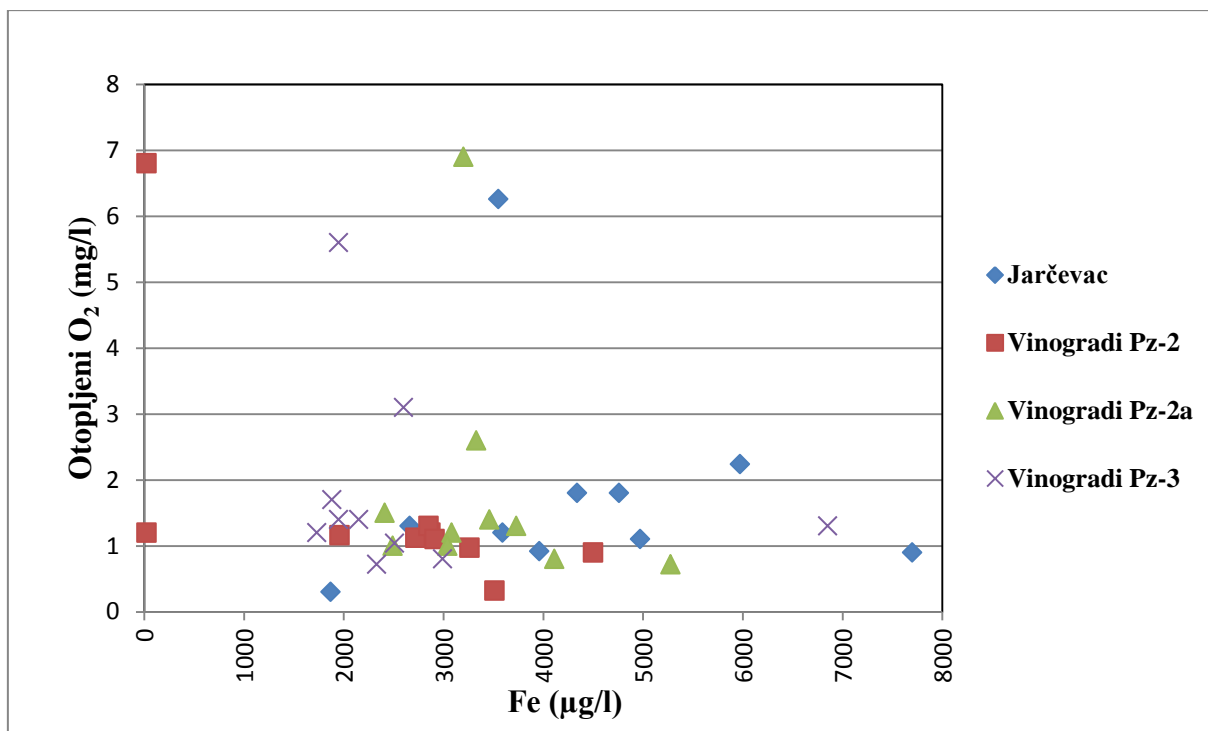
Slika 5-59. Odnos mangana i sumporovodika (Županja, Bošnjaci, Vrbanja)



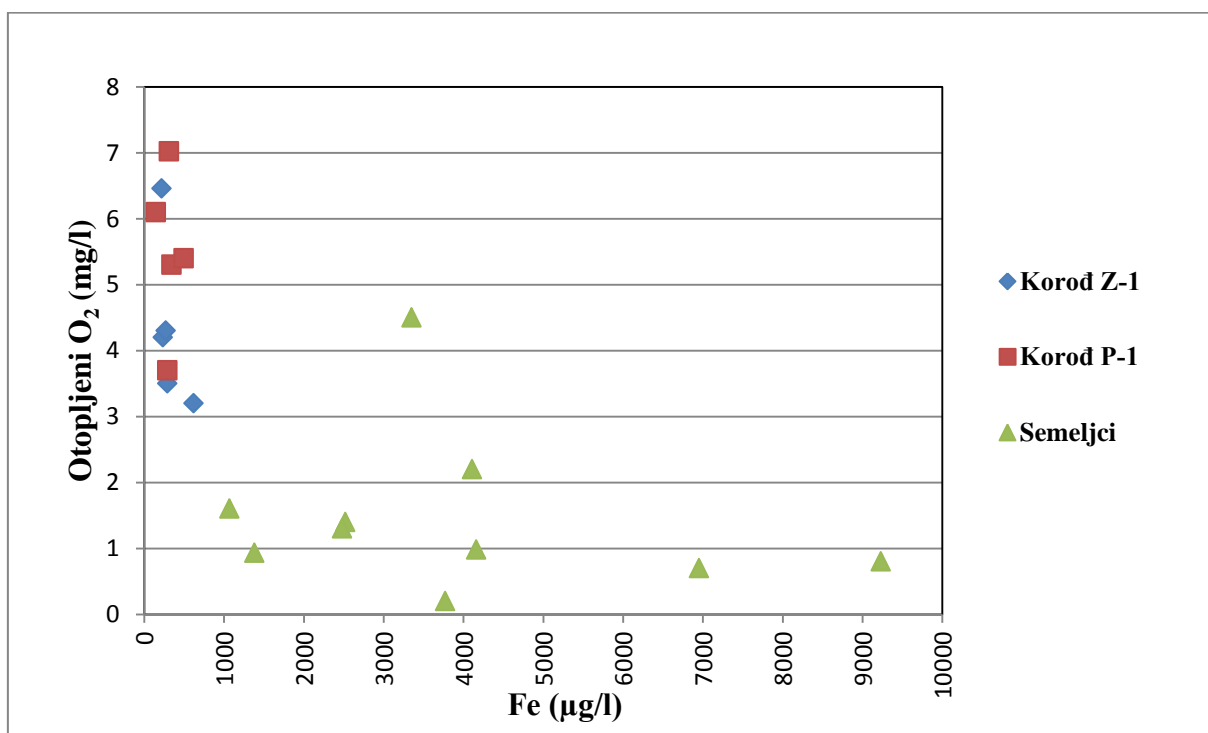
Slika 5-60. Odnos mangana i sumporovodika (Skela, Mohovo MP-4, Mohovo MP-3, Bapska, Opatovac)



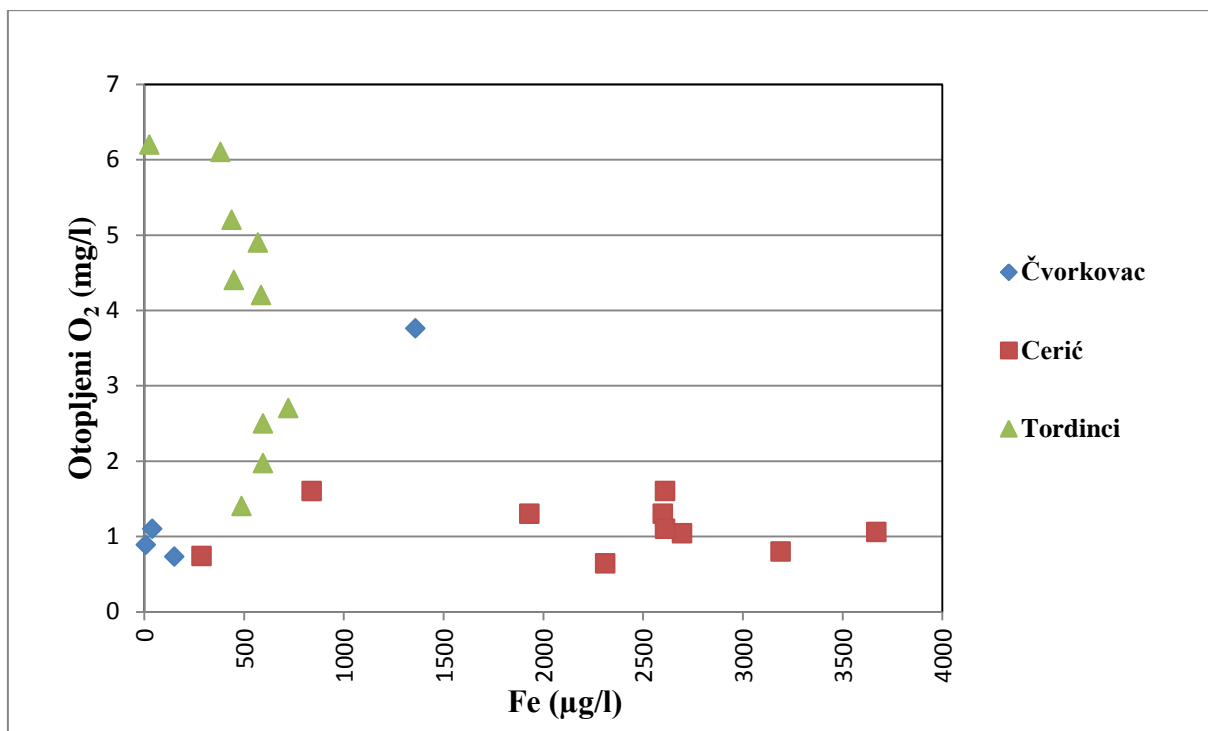
Slika 5-61. Odnos željeza i otopljenog kisika (Topolje, Livade, Prosine i Konkološ)



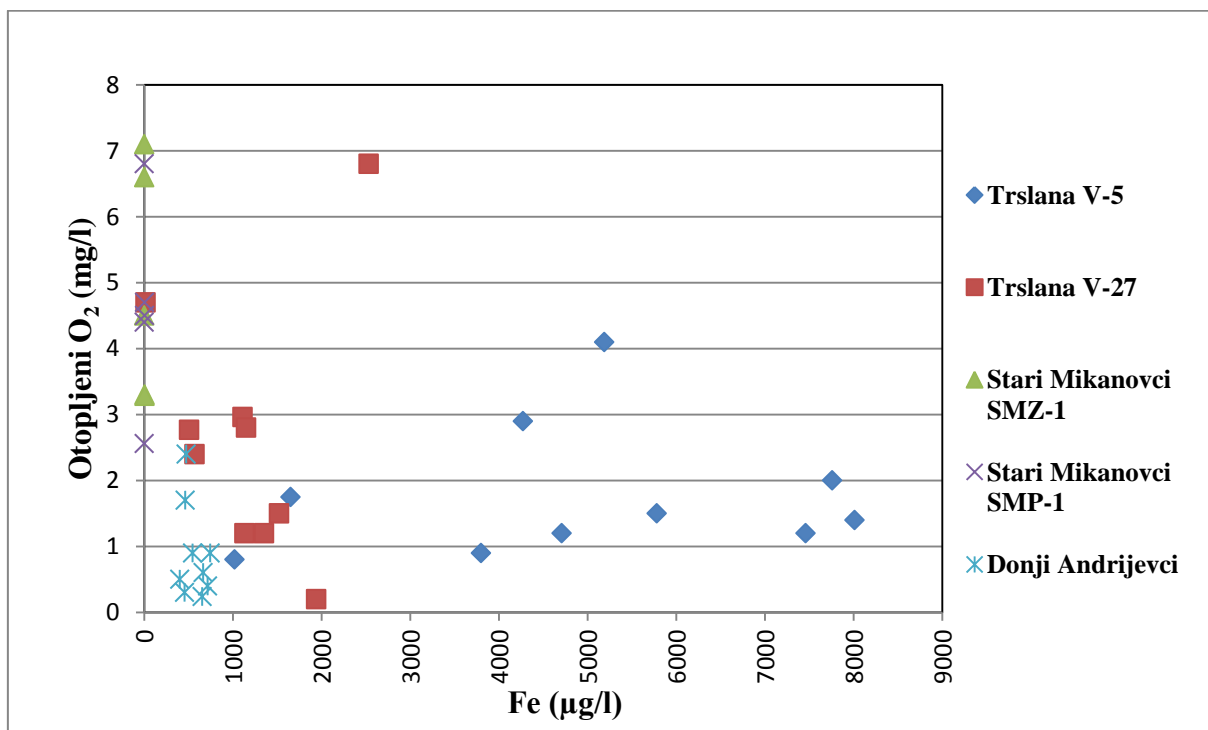
Slika 5-62. Odnos željeza i otopljenog kisika (Jarčevac, Vinogradi Pz-2, Vinogradi Pz-2a, Vinogradi Pz-3)



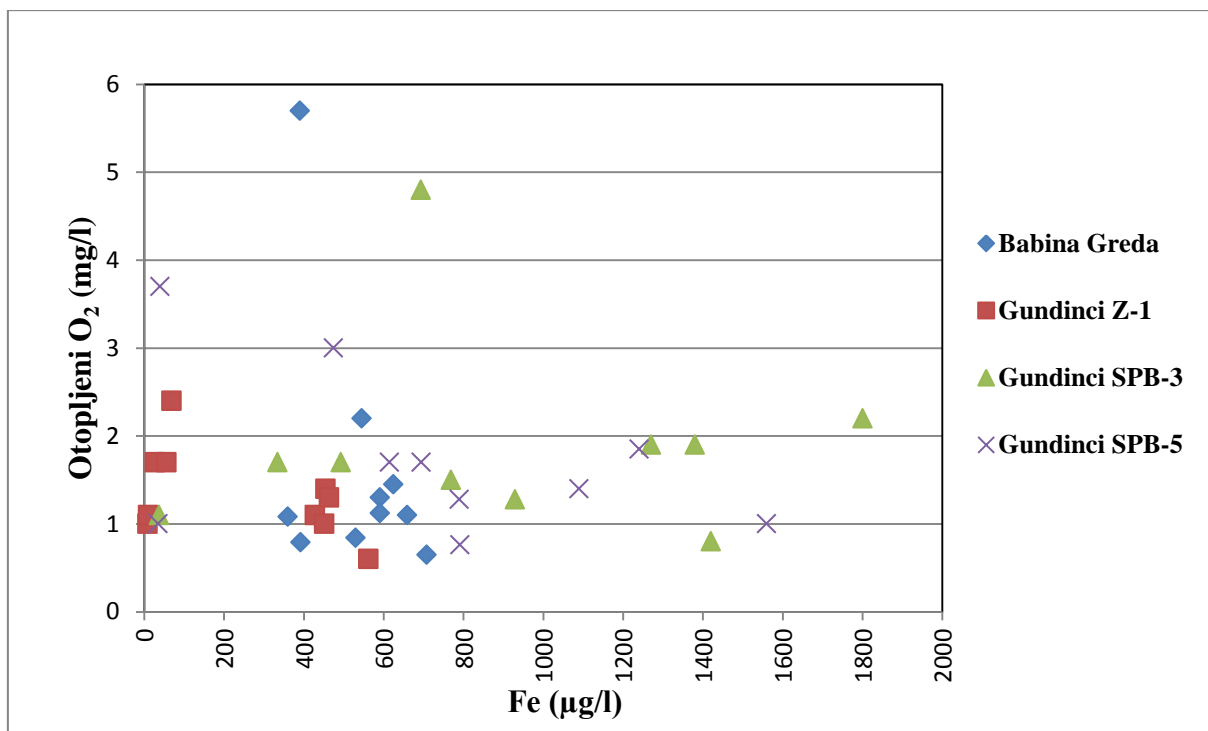
Slika 5-63. Odnos željeza i otopljenog kisika (Korod Z-1, Korod P-1, Semeljci)



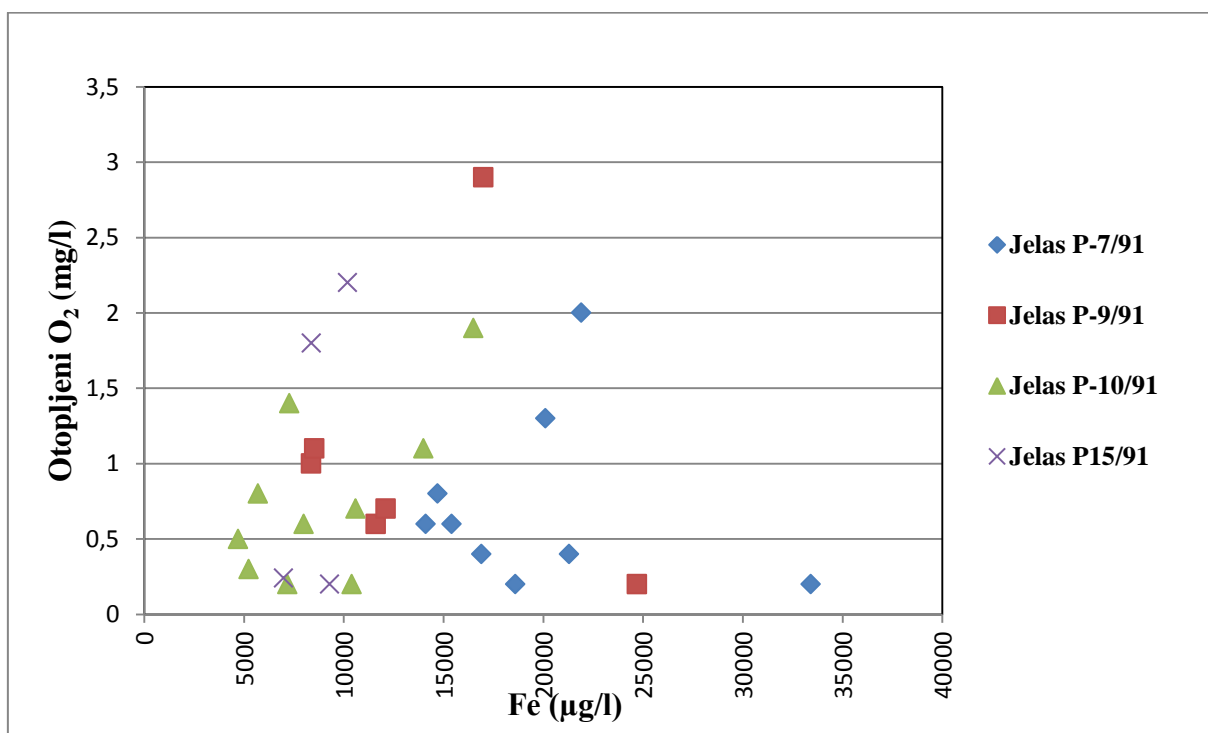
Slika 5-64. Odnos željeza i otopljenog kisika (Čvorkovac, Cerić, Tordinci)



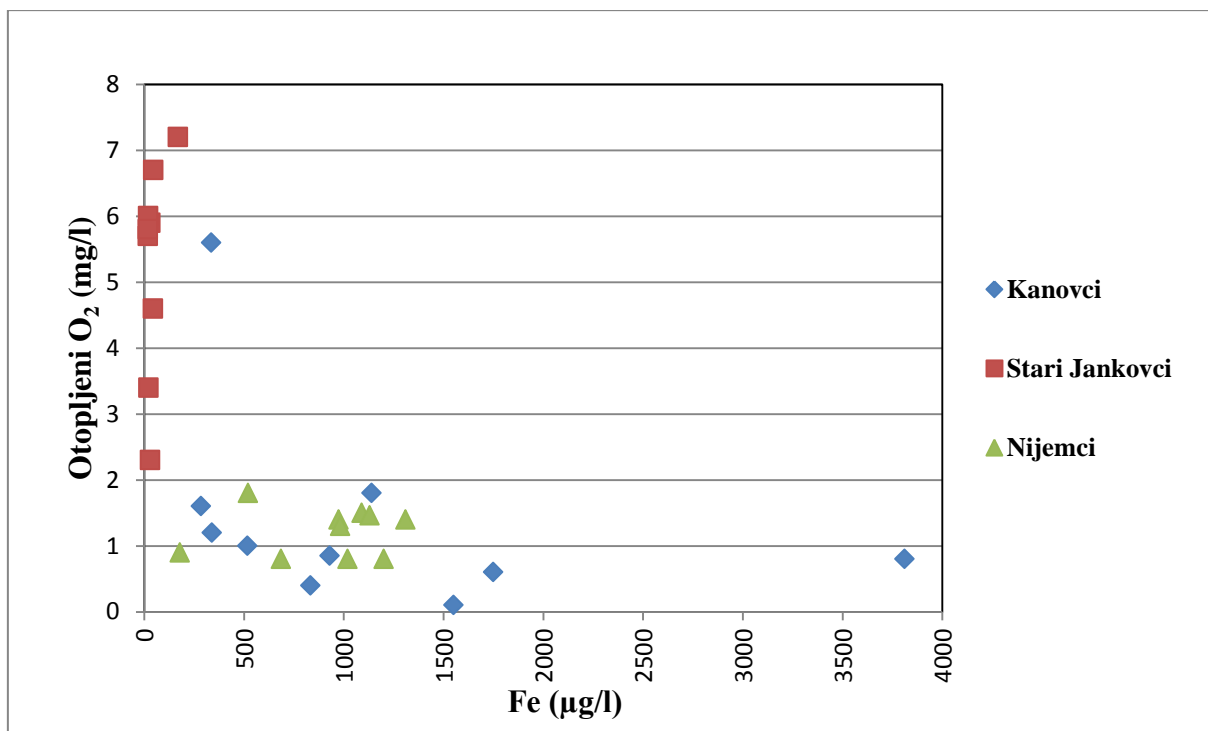
Slika 5-65. Odnos željeza i otopljenog kisika (Trslana V-5, Trslana V-27, Stari Mikanovci SMZ-1, Stari Mikanovci SMP-1, Donji Andrijevi)



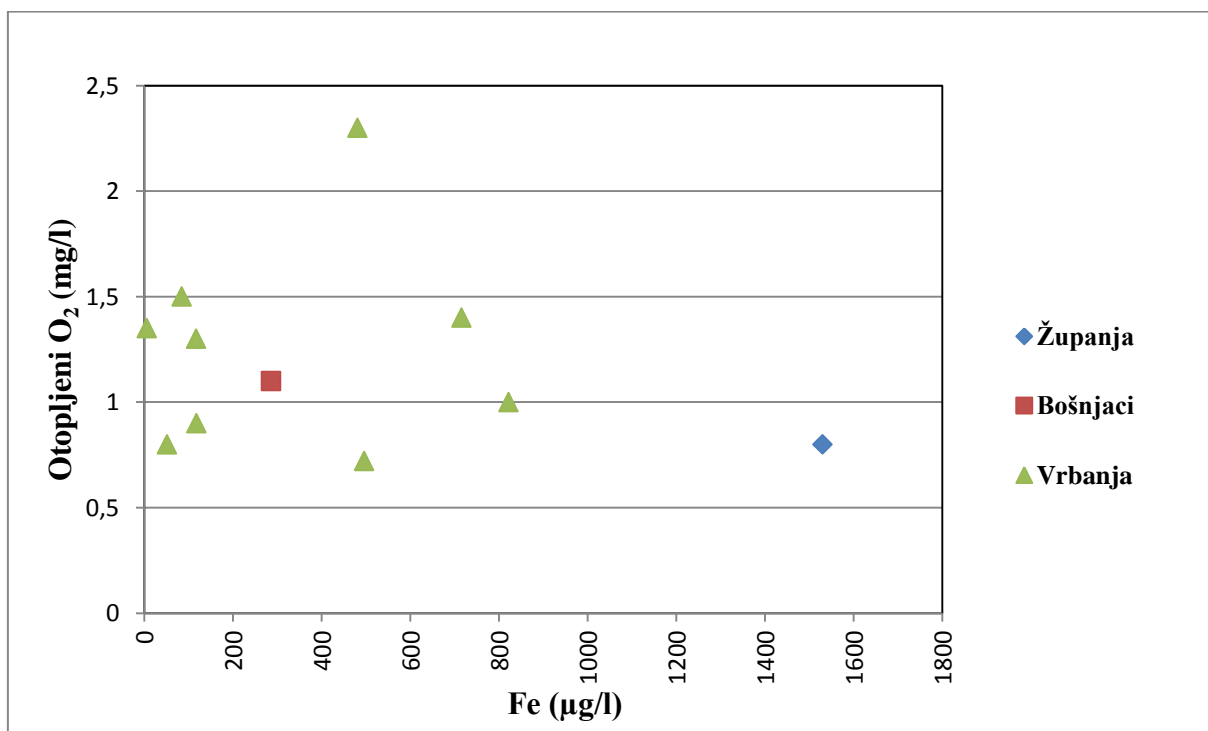
Slika 5-66. Odnos željeza i otopljenog kisika (Babina Greda, Gundinci Z-1, Gundinci SPB-3, Gundinci SPB-5)



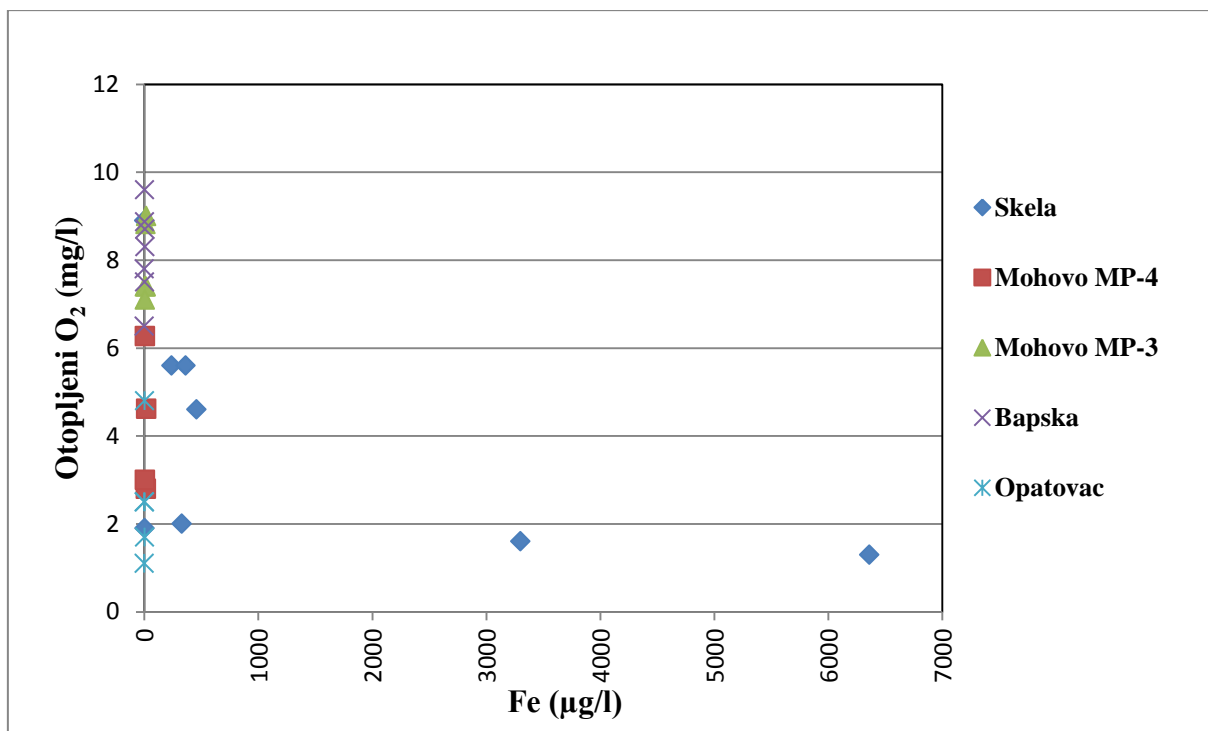
Slika 5-67. Odnos željeza i otopljenog kisika (Jelas P-7/91, Jelas P-9/91, Jelas P-10/91, Jelas P15/91)



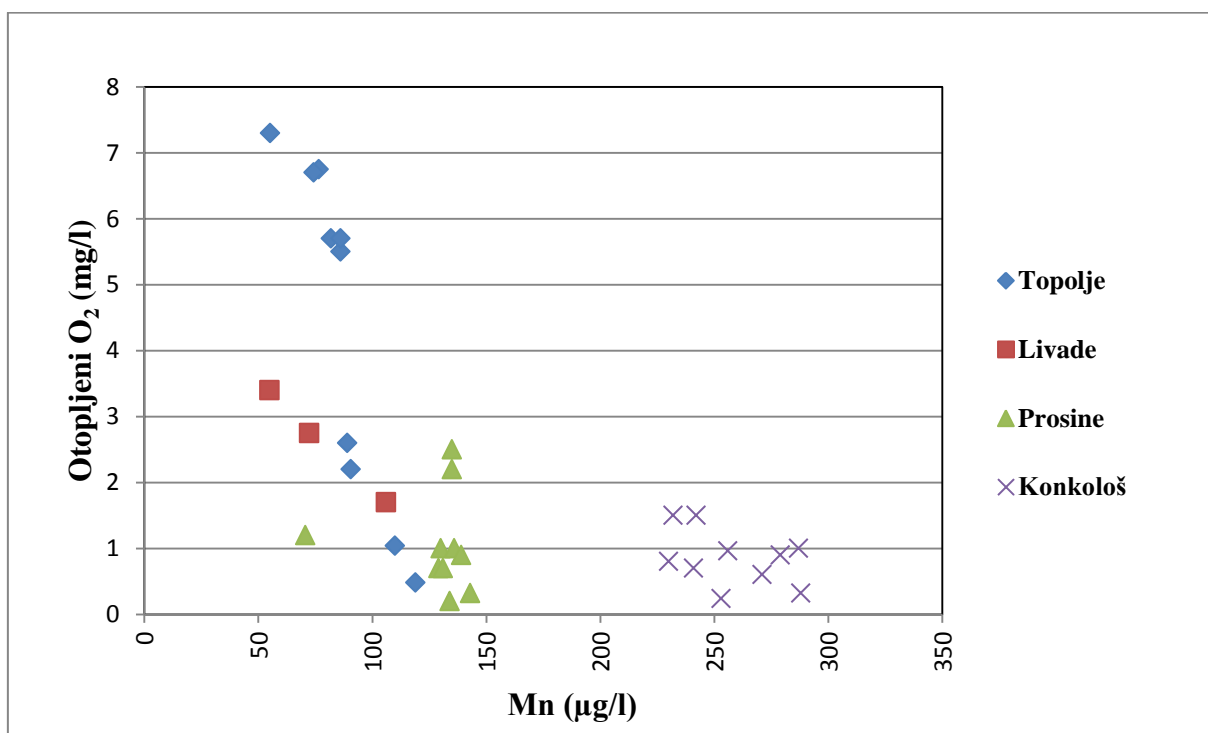
Slika 5-68. Odnos željeza i otopljenog kisika (Kanovci, Stari Jankovci, Nijemci)



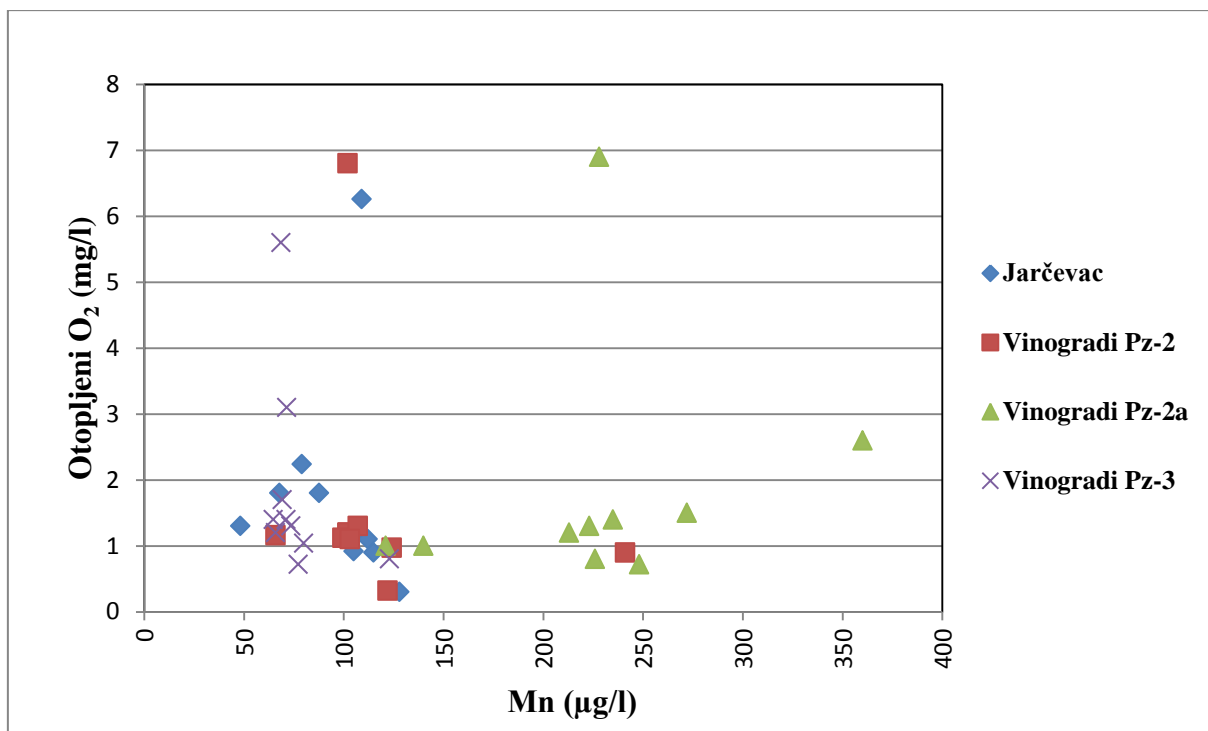
Slika 5-69. Odnos željeza i otopljenog kisika (Županja, Bošnjaci, Vrbanja)



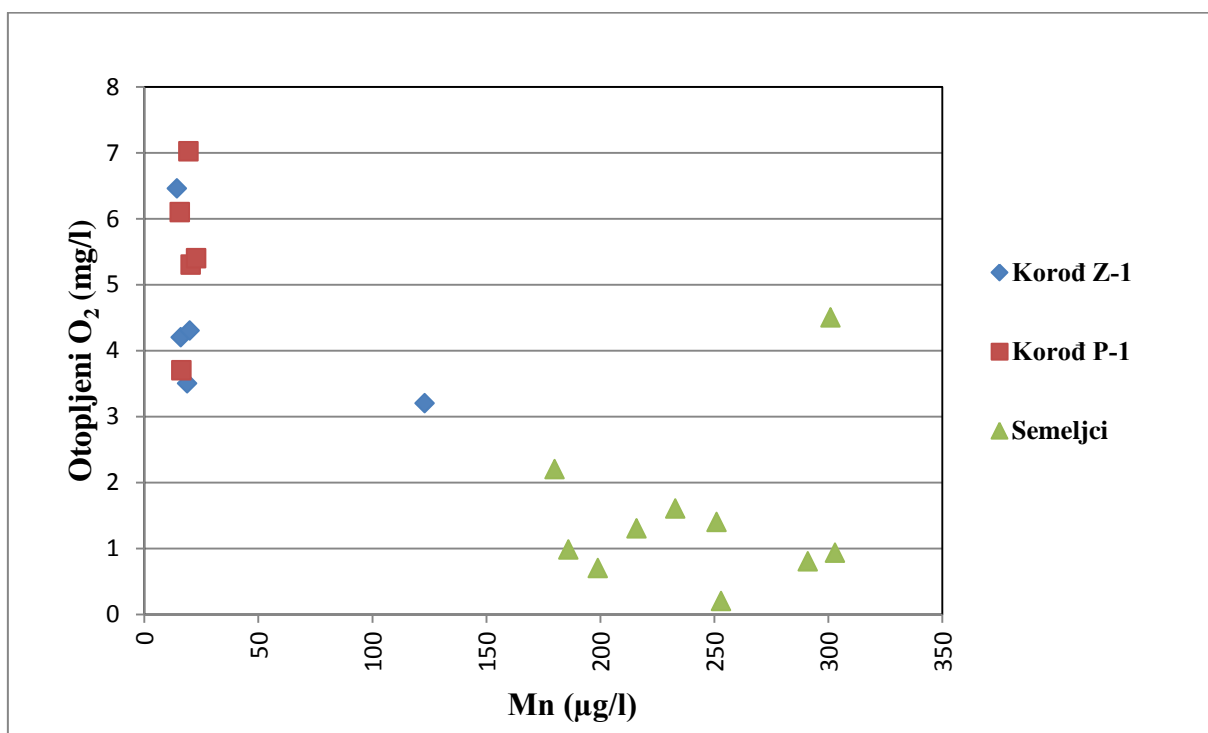
Slika 5-70. Odnos željeza i otopljenog kisika (Skela, Mohovo MP-4, Mohovo MP-3, Bapska, Opatovac)



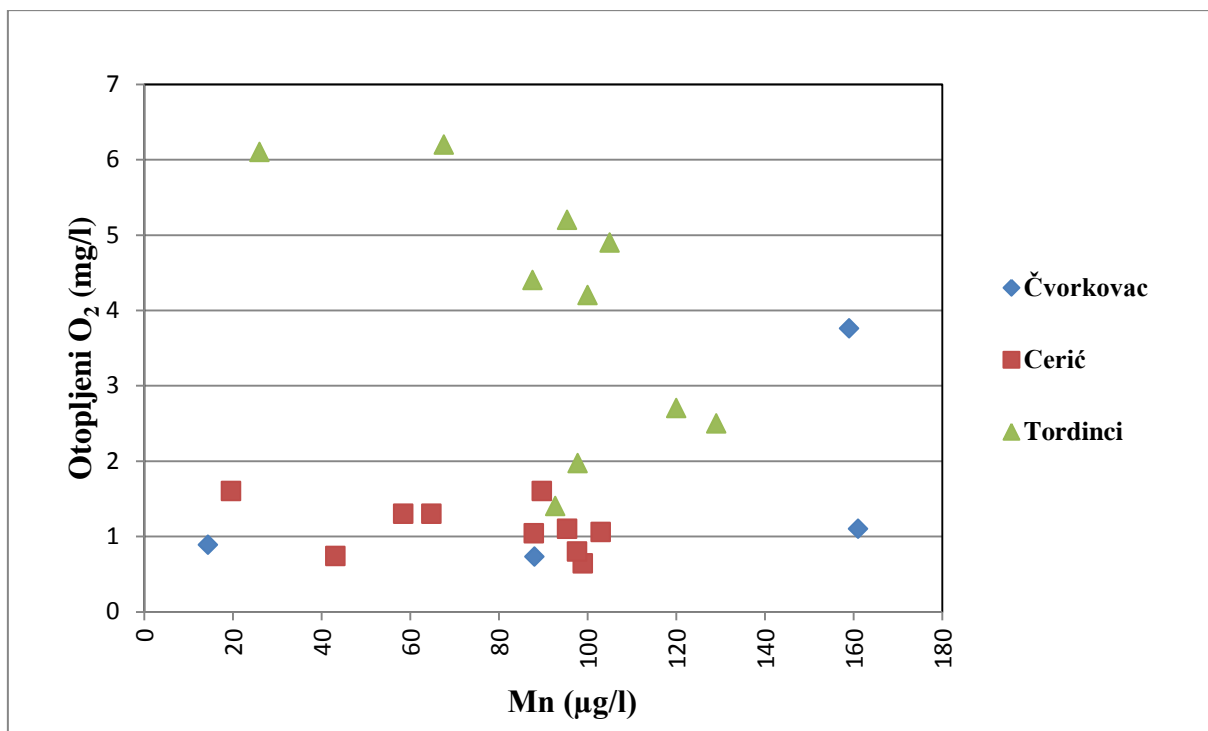
Slika 5-71. Odnos mangana i otopljenog kisika (Topolje, Livade, Prosine, Konokološ)



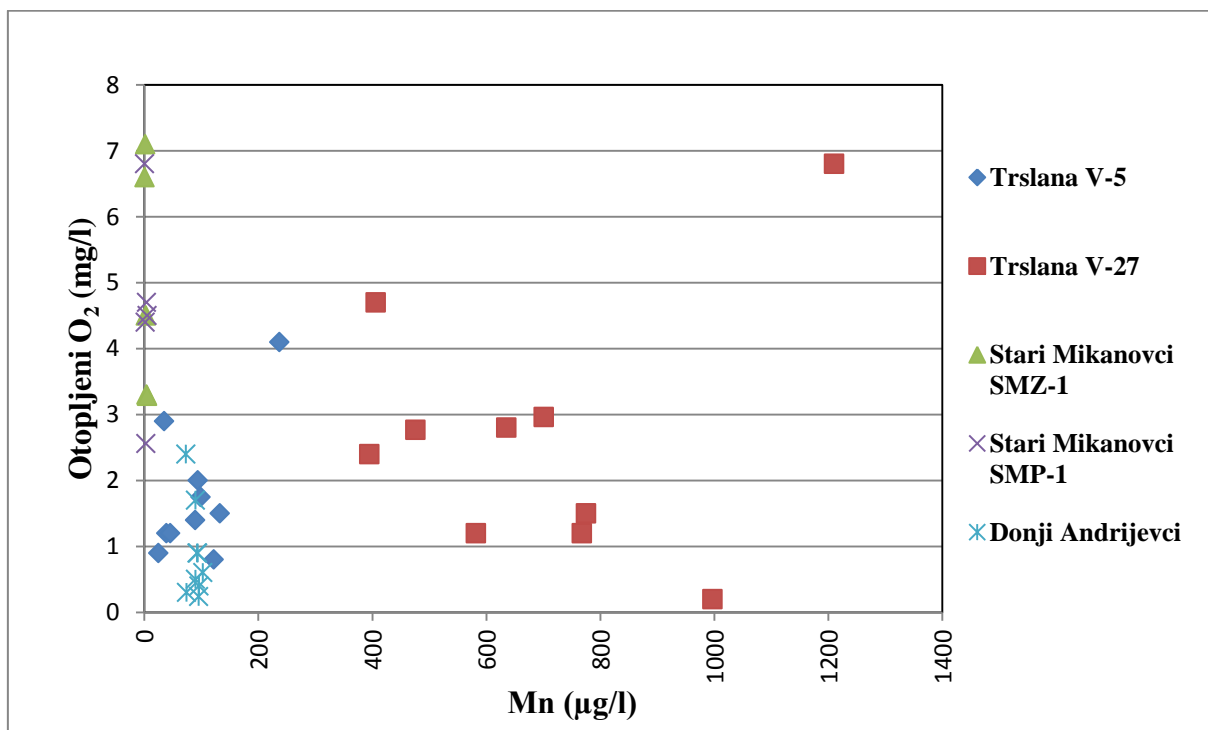
Slika 5-72. Odnos mangana i otopljenog kisika (Jarčevac, Vinogradi Pz-2, Vinogradi Pz-2a, Vinogradi Pz-3)



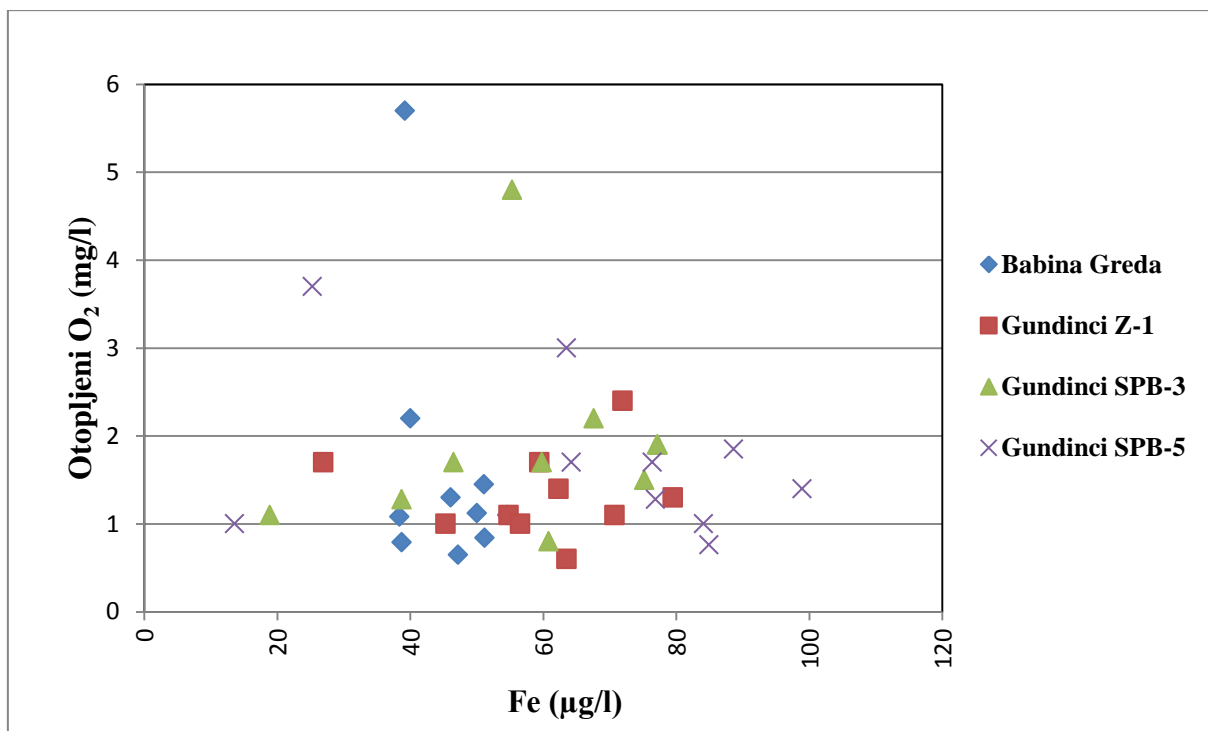
Slika 5-73. Odnos mangana i otopljenog kisika (Korod Z-1, Korod P-1, Semeljci)



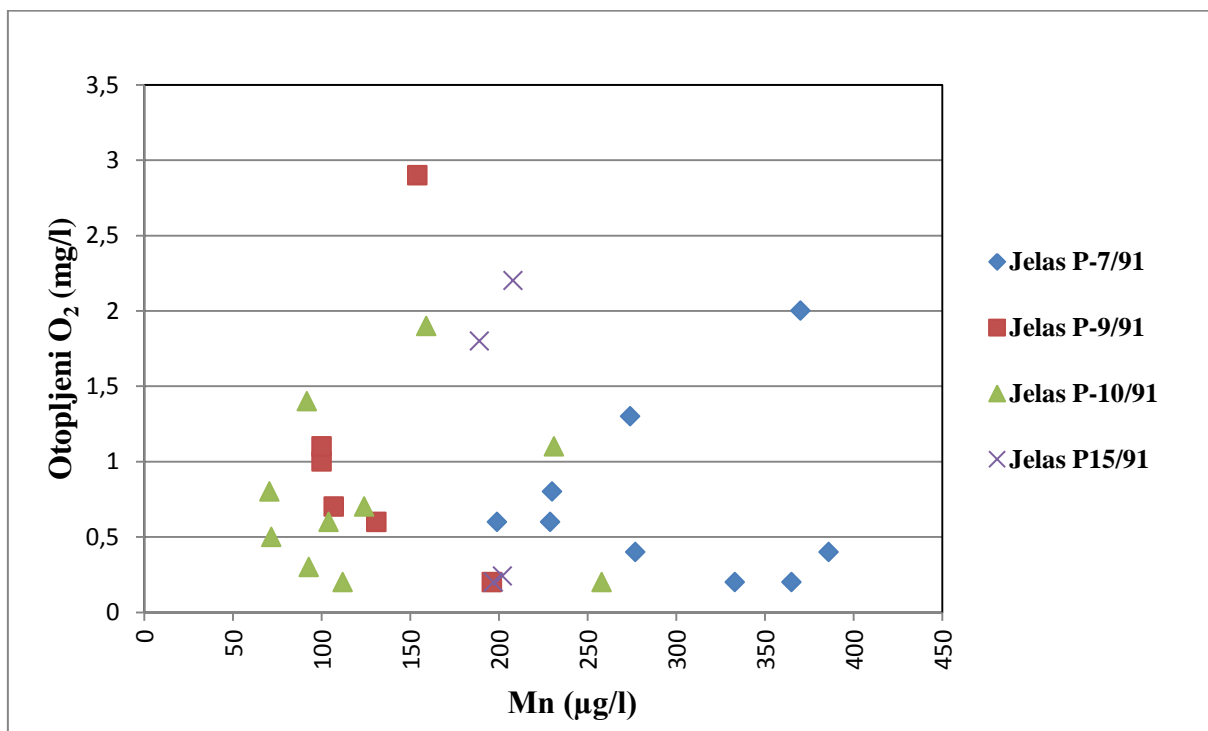
Slika 5-74. Odnos mangana i otopljenog kisika (Čvorkovac, Cerić, Tordinci)



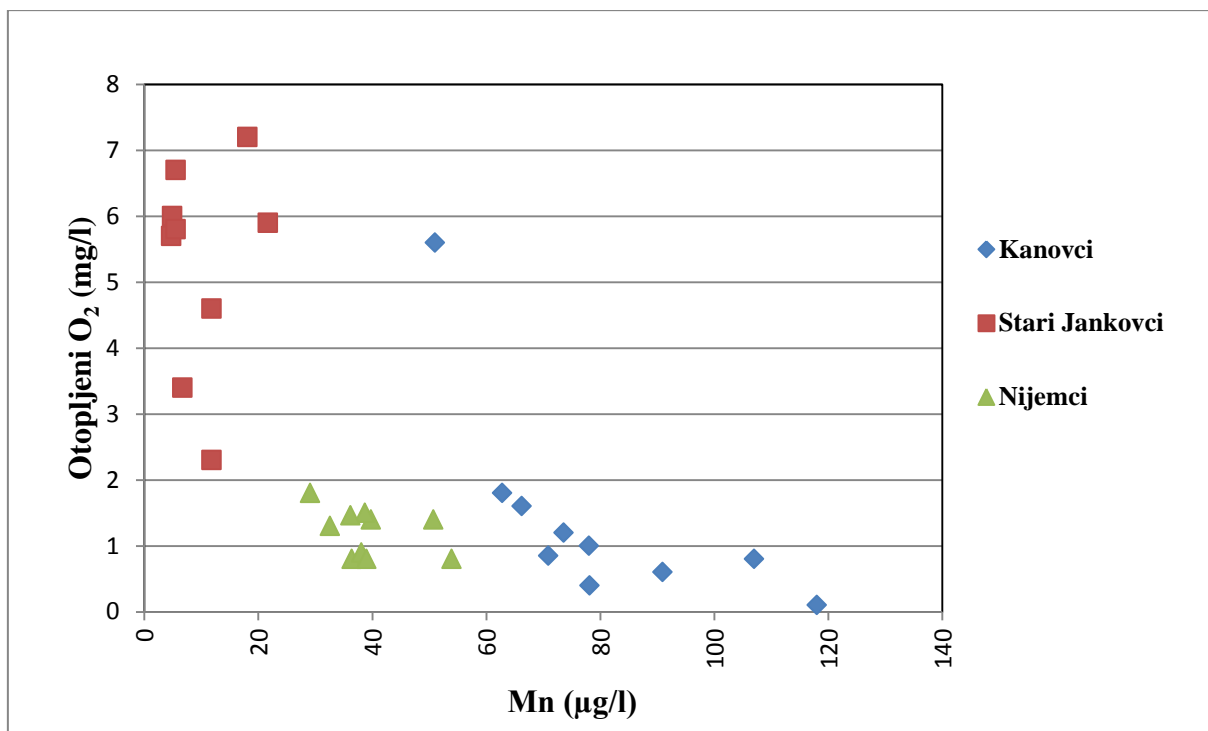
Slika 5-75. Odnos mangana i otopljenog kisika (Trslana V-5, Trslana V-27, Stari Mikanovci SMZ-1, Stari Mikanovci SMP-1, Donji Andrijevci)



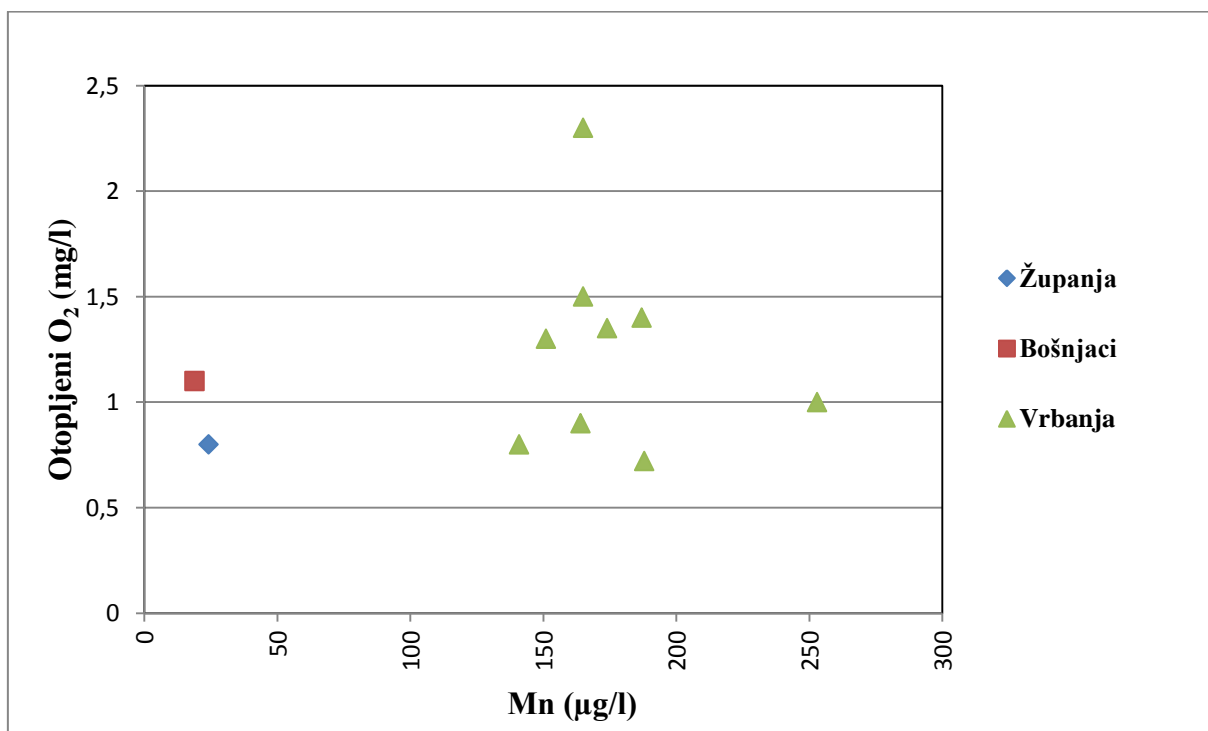
Slika 5-76. Odnos mangana i otopljenog kisika (Babina Greda, Gundinci Z-1, Gundinci SPB-3, Gundinci SPB-5)



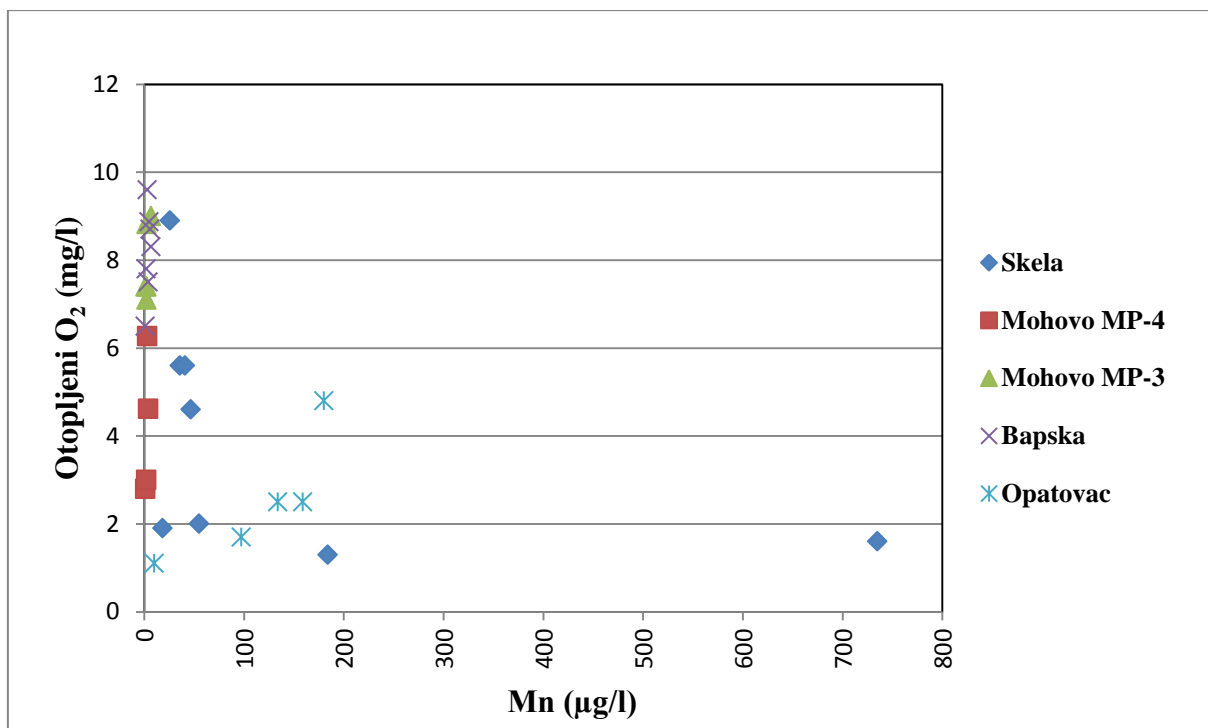
Slika 5-77. Odnos mangana i otopljenog kisika (Jelas P-7/91, Jelas P-9/91, Jelas P-10/91, Jelas P15/91)



Slika 5-78. Odnos mangana i otopljenog kisika (Kanovci, Stari Jankovci, Nijemci)



Slika 5-79. Odnos mangana i otopljenog kisika (Županja, Bošnjaci, Vrbanja)



Slika 5-80. Odnos mangana i otopljenog kisika (Skela, Mohovo MP-4, Mohovo MP-3, Bapska, Opatovac)

Koncentracije željeza u promatranom razdoblju znatno premašuju maksimalno dozvoljene koncentracije, osim na lokacijama Korođ P-1, Čvorkovac, Stari Mikanovci SMZ-1, Stari Mikanovci SMP-1, Stari Jankovci, Bapska, Mohovo MP-4, Mohovo MP-3 gdje su izmjerene vrijednosti niže. Također i koncentracije mangana premašuju maksimalno dozvoljene koncentracije, osim na lokacijama Korođ Z-1, Korođ P-1, Stari Mikanovci SMZ-1, Stari Mikanovci SMP-1, Nijemci, Stari Jankovci, Skela, Bapska i Mohovo MP-3 gdje su vrijednosti niže. Povišene vrijednosti su rezultat reduktivnih uvjeta koji vladaju u vodonosnicima na promatranom području (Duić i Briški, 2010).

Vidljiv je utjecaj promjene pH vrijednosti na koncentraciju željeza u vodi, osim na lokacijama Korođ Z-1, Stari Mikanovci SMZ-1, Stari Mikanovci SMP-1, Stari Jankovci, Skela, Mohovo MP-4, Mohovo MP-3, Bapska i Opatovac. Isto tako se zapaža ujecaj pH vrijednosti i na koncentraciju mangana, izuzev lokacija Korođ, Stari Mikanovci, Stari Jankovci, Skela, Mohovo, Bapska i Opatovac. Pri približno neutralnoj pH vrijednosti koncentracije su povišene, a povećanjem pH vrijednosti smanjuju se kocentracije željeza i mangana.

Ne postoji značajna povezanost između željeza i sumporovodika, te isto tako između mangana i sumporovodika, osim na lokacijama Prosine, Vinogradi Pz-2, Vinogradi Pz-3, Korod Z-1, Korod P-1, Cerić, Gundinci Z-1, Jelas P-9/91, Jelas P-15/91 i Nijemci gdje povezanost ukazuje na razgradnju organskih tvari u tlu.

Značajna povezanost se zapaža između željeza i otopljenog kisika, te između mangana i otopljenog kisika, osim na lokacijama Korod Z-1, Korod P-1, Stari Mikanovci SMZ-1, Stari Mikanovci SMP-1, Stari Jankovci, Mohovo MP-4, Mohovo MP-3, Bapska, Opatovac. Smanjenjem koncentracije otopljenog kisika se povećava topljivost željeza i mangana.

6. Zaključak

Na temelju rezultata koji su dobiveni analizom uzoraka podzemnih voda s područja istočne Slavonije zaključuje se:

- koncentracije željeza i mangana znatno premašuju maksimalno dozvoljene koncentracije zbog reduktivnih uvjeta koji vladaju u vodonosnicima
- zapaža se ovisnost pH vrijednosti i koncentracija željeza i mangana, pri približno neutralnoj pH vrijednosti koncentracije su visoke, a povećanjem pH vrijednosti smanjuju se koncentracije željeza i mangana
- na lokacijama Prosine, Vinogradi Pz-2, Vinogradi Pz-3, Korod Z-1, Korod P-1, Cerić, Gundinci Z-1, Jelas P-9/91, Jelas P-15/91 i Nijemci povezanost željeza i mangana sa sumporovodikom ukazuje na razgradnju organskih tvari u tlu
- količina otopljenog kisika će uvjetovati koncentracije željeza i mangana, dakle, smanjenje otopljenog kisika će se povećati koncentracije

7. Literatura

- Bačani, A. (1997) *Značajke hidrauličkih granica vodonosnih slojeva na vododjelnici savskog i dravskog prorječja u istočnoj Slavoniji*, disertacija, Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet.
- Bačani, A., Šparica, M., Velić, J. (1999) „Quaternary Deposits as the Hydrogeological System of Eastern Slavonia“, *Geologia Croatica*, vol. 52, br. 2, str. 141 – 152.
- Capar, A. (1992) „Poznavanje i istraženost hidrogeologije savskog sliva istočne Slavonije“, *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, br. 4, str. 23 – 35.
- Duić, Ž. (2006) *Obnovljivost zaliha podzemnih voda heterogenog vodonosnog kompleksa na primjeru osječčkog crpilišta Vinogradi*, disertacija, Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet.
- Duić, Ž., Briški, M. (2010) „Učinak geoloških struktura na hidrogeološke značajke kvartarnih naslaga u Baranji“, *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, br. 22, str. 1-9.
- Hem, J. D. (1992) „Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water“, *USGS Water-Supply Paper*, vol. 2254.
- Hem, J. D. (2005) *Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water*, Honolulu: University Press of the Pacific.
- Hernitz, Z. (1983) „Dubinski strukturno-teklonski odnosi u području istočne Slavonije“, disertacija, *Nafta*, Zagreb: Jugosl. komitet svjet. kongr. za naftu, str. 1 – 221.
- Jordana, S., Batista, E. (2004) „Natural groundwater quality and health“, *Geologica Acta*, vol. 2, br. 2, str. 175 – 188.
- Miletić, P., Nowinski, A., Urumović, K. (1975) „O drugoj hidrogeološkoj zoni sjeverne Hrvatske“, *Zbornik radova Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta*, str. 97 – 100.
- Miletić, P., Bačani, A., Mayer, D., Capar, A. (1986) „Prilog poznavanju hidrogeoloških značajki prve hidrogeološke zone na području istočne Slavonije“, *Geološki vjesnik*, vol. 39, str. 137 – 150.

Mutić, R. (1990) „Korelacija kvartara istočne Slavonije na osnovi podataka mineraloško-petrografskih analiza (Istočna Hrvatska, Jugoslavija). Dio II: Lesni ravnjak“, *Acta geologica*, vol. 20, br. 2, str. 29 – 80.

Mutić, R. (1993) „Korelacija kvartara istočne Slavonije na osnovi podataka mineraloško-petrografskih analiza (Istočna Hrvatska). Dio III: Slavonsko - srijemska potolina“, *Acta geologica*, vol. 23, br. 1., str. 1 – 37.

Pravilnik o prametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju (NN, br. 125/13, 141/13 i 128/15).

Prostorni plan Brodsko-posavske županije, Zavod za prostorno uređenje Brodsko-posavske županije, 2001.

Prostorni plan Osječko-baranjske županije, Zavod za prostorno uređenje Osječko-baranjske županije, 2002.

Urumović, K., Hernitz, Z., Šimon, J., Velić, J. (1976) „O propusnom mediju kvartarnih te gornjo i srednjopliocenskih naslaga sjeverne Hrvatske“, *Zbornik radova 4. jugoslavenskog simpozija o hidrogeologiji i inženjerskoj geologiji*, Skopje, str. 395 – 410.

Urumović, K., Hernitz, Z., Šimon, J. (1978) „O kvartarnim naslagama istočne Posavine (SR Hrvatska)“, *Geološki vjesnik*, vol. 30, br. 1, str. 297 – 308.

Wilkie, J. A., Hering, J. G. (1996) „Adsorption of arsenic onto hydrous ferric oxide: effects of adsorbate/adsorbent ratios and co-occurring solutes“, *Colloid. Surface*, vol. 107, str. 97 – 110.